

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГОРОБЧИШИН ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ

УДК 622.236

РОЗРОБКА НАУКОВОГО СУПРОВОДУ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ
ТРІЩИНУВАТИСТЮ БЛОКОВОГО КАМЕНЮ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДО
ВИЙМАННЯ

Спеціальність 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
доктор технічних наук, професор
Зуєвська Наталя Валеріївна

Київ – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРІЩИНУВАТОСТІ НА ЯКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ ВИРОБІВ

1.1 Характеристика родовищ природного каменю України та існуючих способів видобування	10
1.2 Сучасні напрямки аналізу і оцінки тріщинуватості гірських порід	17
1.3 Аналіз причин утворення зональної технологічної мікротріщинуватості при відділенні блоків від масиву	27
1.4 Постановка задач дослідження	31

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБІВ РУЙНУВАННЯ ПОРІД ПРИ ПІДГОТОВЦІ БЛОКІВ ДО ВИЙМАННЯ КАМЕНЮ НА ЙОГО ТРІЩИНУВАТІСТЬ

2.1. Метод неруйнівного контролю і виявлення прихованих дефектів в блоках	33
2.2. Експериментальне визначення тріщинуватості природного каменю із застосуванням мікроскопічного методу	45
2.3. Визначення характеристик міцності вийнятого блока облицювального каменю	55

Висновки до розділу

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МІКРОТРІЩИНУВАТОСТІ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМИ MATLAB

3.1. Матричне представлення об'єктів в системі MATLAB	61
3.2. Лабораторні дослідження підповерхневої структури гранітів в залежності від способів видобутку	65
3.3. Цифрова обробка зображень за допомогою програми MATLAB	70

Висновки до розділу	74
---------------------	----

РОЗДІЛ 4. ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРІЩИНУВАТОСТІ НА КАР'ЄРАХ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

4.1. Аналіз технологічних процесів, що змінюють агрегатний стан блокового каменю	75
4.2. Перерозподіл напружень на уступі кар'єра декоративного каменю в процесі видобування	63
4.3. Числове моделювання зональної технологічної тріщинуватості на кар'єрах декоративного каменю	71
Висновки до розділу	91

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ РОЗРОБКИ НА ВИХІД БЛОКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

5.1. Загальні відомості про Анастасіївське родовище гранітів	100
5.2. Технологія видобутку корисної копалини	106
5.3. Порівняння економічного ефекту від зміни параметрів видобувних робіт для умов Анастасіївського кар'єру	109
Висновки до розділу	118
Загальні висновки	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
Додаток А Фізико-механічні властивості зразків	136
Додаток В Результати ультрозвукових вимірювань	139
Додаток С Розрахунки по визначенню довжини та глибини	145
Додаток D Скрипт для розрахунку в Mathcad	155
Додаток Е Акти впровадження	160

ВСТУП

Досвід міського будівництва в Україні свідчить про необхідність пред'явлення підвищених вимог до будівельних матеріалів для зовнішніх робіт. Зовнішні облицювальні матеріали повинні мати не тільки високі декоративні якості, а й бути довговічними. Застосування гранітного каменя в якості облицювального матеріалу повністю задовольняє цим вимогам. Використання його має сенс для покращення міського дизайну, надання архітектурної виразності спорудам і вулицям. Він широко застосовується в практиці міського будівництва для облицювання підземних переходів, цоколів споруд, сходів, дорожнього покриття. Таке широке застосування кам'яного матеріалу для зовнішнього облицювання пояснюється досить складними кліматичними умовами, значними перепадами температур в зимово-літні періоди, великою кількістю опадів, застосування хімічно агресивних речовин для обробки вулиць в містах при їх очищенні.

Майже третина (200 тис. км²) території нашої країни припадає на Український кристалічний щит, що складається переважно з унікальних за своїми декоративним характеристикам гранітів, діоритів, лабрадоритів, габро та інших різновидів гірських порід. Значні запаси унікальних порід каменю дозволяють широко застосовувати їх при оздобленні зовнішньої поверхні будинків і споруд, оформленні інтер'єрів, виготовленні архітектурно-будівельних виробів, спорудженні монументів, пам'ятників, різноманітних скульптур.

Лідируючи в світі за запасами декоративно-облицювального каменю, Україна займає одне з останніх місць за його видобутком. Однією з основних причин цього є недостатня якість видобутих блоків, що не відповідає світовим стандартам. Структура експорту природного каменю в Україні показує значну перевагу (більше половини) гранітів. Декоративність самого каменю повністю відповідає вимогам ринку, але застосування технологій, які не зберігають цілісності каменю і призводять до активного процесу технологічного

тріщиноутворення всередині блоків, не дозволяють вирізати з них євростандартні розміри плит. Це призводить до зниження попиту на нашу продукцію і цін на неї. Саме тому дослідження з аналізу та оцінки технологічної тріщинуватості гірських порід при вийманні блоків, а також вдосконалення технологічних прийомів, які б могли знизити утворення технологічної тріщинуватості, є **актуальними науковими напрямками дослідження.**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій ІЕЕ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI), а також плану наукових досліджень кафедри геобудівництва та гірничих технологій, і є складовою частиною НДР: «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та геотехнічного будівництва» (№ ДР 0115U005398), в яких автор дисертації був виконавцем.

Метою дисертаційної роботи є вдосконалення параметрів технології відокремлення блоків декоративного каменю при вийманні для зниження їх технологічної тріщинуватості через використання комп'ютерного моделювання.

Вказана мета досягається вирішенням наступних **задач**:

- встановлення закономірностей формування зональної технологічної тріщинуватості та зміни міцнісних характеристик гірської породи в залежності від розмірів блоків при різних способах їх відділення від масиву;
- вибір кількісної оцінки питомої дефектності блоків та виробів з них з використанням сучасного програмного забезпечення;
- встановлення ефективних технологічних параметрів робочого уступу з метою підвищення якості відділюваних блоків.

Об'єкт дослідження – процеси та технологічні параметри способів підготовки блокового каменю до виймання.

Предмет дослідження - закономірності формування зональної технологічної тріщинуватості блокового каменю в процесі відокремлення.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач у роботі використовувались сучасні методи наукових досліджень аналізу – для узагальнення сучасних досягнень з удосконалення технології підготовки блокового каменю до виймання; експериментальних досліджень в натурних умовах – для визначення якості блоків неруйнівними методами; геоматематичної статистики – для обробки експериментальних даних та встановлення залежності міцнісних характеристик блоків від зональної тріщинуватості; математичного моделювання – для встановлення залежності зміни максимальних значень напружень в масиві від технологічних параметрів відокремлення блоків; техніко-економічного аналізу – для оцінки доцільності практичної реалізації отриманих результатів.

Наукову новизну отриманих результатів представлено наступними науковими положеннями, в яких вперше:

- встановлено поліноміальні закономірності зміни модуля пружності граніту в крайових частинах блоків, відділених різними методами ;
- отримано закономірності розподілу в об'ємі блока та обсяги зон пониженої міцності в залежності від обраного способу відділення; встановлено, що у відділеному вибухом блоці обсяг крайових зон пониженої міцності досягає $2/3$ загального об'єму;
- визначено процентний вміст питомої технологічної тріщинуватості декоративного каменю в залежності від способів відділення блоків; встановлено втричі збільшення питомої технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху;
- математично обґрунтовано закономірності зонального розподілу полів напружень в масиві відділеного блока та встановлено поліноміальні залежності критичних значень напружень стискання та розтягнення в кутових зонах моноліту від кута укосу робочого уступу при підготовці блоків до виймання.

Практична цінність результатів роботи полягає в:

- створенні алгоритму та програмного продукту, який дозволяє моделювати та виконувати інженерний розрахунок параметрів процесу формування зональних напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу;
- розробці методики експрес-діагностики кількісної оцінки питомої тріщинуватості гранітів при проведенні дефектоскопії блоків і виробів з них;
- розробці рекомендацій щодо параметрів відокремлення блоків від масиву через зменшення кута укосу робочого уступу, що сприяє зниженню концентрації кутової технологічної тріщинуватості.

Результати дисертаційних досліджень прийняті для впровадження в Державному гемологічному центрі України (ДГЦУ), на кар'єрі Танського родовища ПАТ «Київський завод «Граніт», на кар'єрі Анастасіївського родовища гранітів, що підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані у співавторстві, полягає у: [1] - обґрунтування актуальності застосування алмазно-канатного способу відділення блоків на кар'єрах; [2] - відбір зразків і аналіз застосування мікроскопічного методу для оцінки дефектності виробів з природного каменю; [3] - проведено збір інформації про технологічні параметри при відборі зразків; [4] - тестування і обробка цифрових зображень, використовуючи існуючих математичних алгоритмів за допомогою обчислювальної техніки; [6] - створення математичної моделі перерозподілу напруг на уступі в процесі видобування; [7] - аналіз якісних показників декоративності лабрадориту Осниківського родовища; [8] - обґрунтування якісних характеристик декоративного каміння та методів його оцінки; [9] - експериментальна оцінка блиску 179 зразків декоративного каменю; [10] - експериментальне дослідження електронно-акустичним пристроєм однорідності матеріалу; [11] - аналіз інформаційних джерел та нормативно-правових актів, які регламентують старательський видобуток корисних копалин; [12] - дослідження якості блочного каменю з використанням електронної мікроскопії; [13] - виконання досліджень що до особливостей вивітрювання

об'єктів, виконаних з вітчизняного декоративного каміння; [14] - вибір критеріїв для оцінки скульптурно-монументальних виробів з декоративного каміння; [16] - виконання експериментальних досліджень по скануванню поверхні об'єкта і побудови карти рельєфу проаналізованої зони; [17] - виконання експериментальних досліджень по отриманню електронних зображень для подальшої обробки; [18] - виконання експериментальних досліджень та проведення аналізу отриманих результатів; [19] - визначення ступеню агресивної дії оточуючого середовища на архітектурні об'єкти з природного каміння.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати роботи доповідались та обговорювались на: міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2012); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2013); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та особливості видобутку, обробки і використання природного каміння» (Київ, 2015); VIII міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» (конференція молодих вчених – аспірантів і магістрантів) (Київ, 2016) та на наукових семінарах кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 19 наукових працях, у тому числі, 6 статей у фахових виданнях, серед яких – 4 статті у виданнях України, які входять до переліку міжнародних наукометричних баз даних, 4 тези доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 1 свідоцтво на науковий твір та 8 статей в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних

джерел, який містить 111 найменувань. Основний текст викладено на 122 сторінках друкованого тексту, містить 46 рисунків, 19 таблиць.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРИЩИНУВАТОСТІ НА ЯКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ ВИРОБІВ

1.1 Характеристика родовищ природного каменю України та існуючих способів видобування

Порівнюючи Україну з іншими країнами, що виготовляють блокову продукцію, зокрема за різноманітністю гранітів, її можна назвати кам'яною скарбницею. Граніти, а точніше гранітоїди є найціннішим облицювальним, декоративним і оброблюваним природним каменем. У Вінницькій області зосереджено 7,93% гранітів, Дніпропетровській - 2,97%, Донецькій - 6,93%, Житомирській - 35,64%, Запорізькій - 2,97%, Київській - 1,98%, Кіровоградській - 16,83 %, Миколаївській - 10,89%, Полтавській - 0,99%, Рівненській - 5,94%, Хмельницькій - 1,98% і 4,95% у Черкаській області.

Аналіз світового ринку природного каменю [1-6], представлений на рис. 1.1, показує, що Україна за видобутком займає 11 місце і на її долю припадає лише 1% кам'яної продукції, тобто лідируючи в світі за запасами

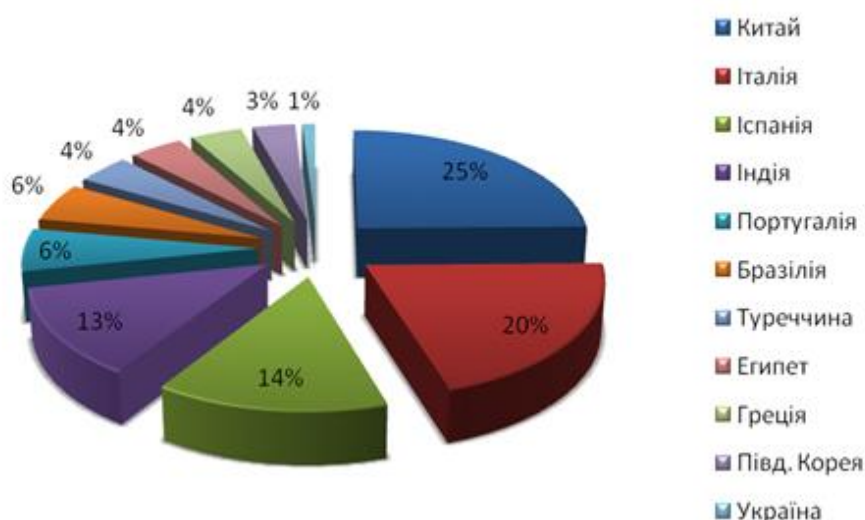


Рисунок 1.1. Відсоток світового ринку за результатами 2015 р.

декоративно-облицювального каменю, Україна займає одне з останніх місць по його видобутку [7-9]. Причина досить проста – застосування не в повній мірі передових технологій і низький рівень забезпечення сучасним устаткуванням.

Структура експорту природного каменю в Україні показує значну перевагу (більше половини) гранітів.

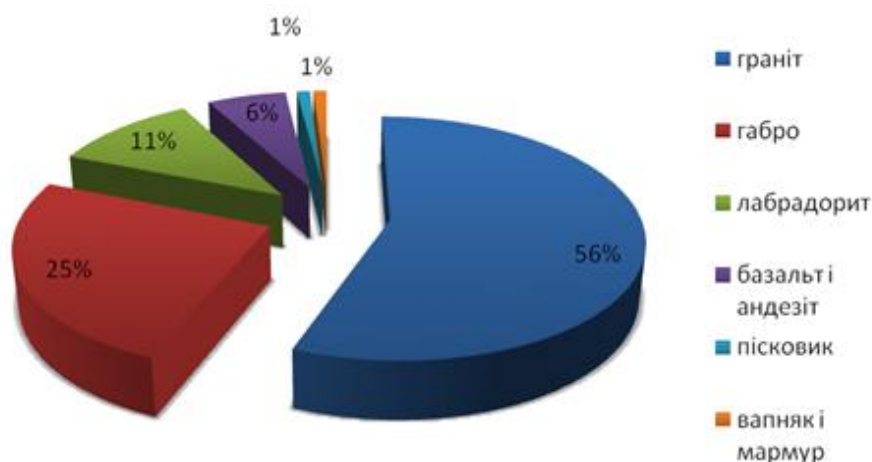


Рисунок 1.2. Структура експорту природного каменю в Україні у 2015 р.

Виходячи з показника вартості, є велика різниця між продажами гранітних блоків або виробів з цих блоків. Звичайно, вартісна частка від продажу виробів з граніту буде вище, ніж блоків.

Щодо виготовлення та використання виробів з гранітів, в архітектурі і будівництві (як і в переважній більшості інших видів облицювального, оздоблювального і декоративного природного каменю), виділяють 5 основних груп [10-12].

1. Архітектурно-будівельні вироби для зовнішнього облицювання і оздоблення будівель і споруд (накривні і цокольні плити, парапети, кулі, деталі мостів і набережних тощо).

2. Вироби для оздоблення інтер'єру (настил підлог, стільниці, бар - стійки, карнизи, балясини, урни, вази та інші складно-профільні вироби).

3. Пам'ятники та об'єкти монументального мистецтва (п'єдестали, колони, постаменти, стилобати, деталі фонтанів тощо).

4. Елементи садово-паркової скульптури.

5. Вироби для дорожньо-вуличного будівництва (камінь бортовий, бруківка, шашка, бордюри тощо).

Раніше застосування та використання гранітів (більше 95%) практично обмежувалося 1, 3 та 5 групами, але за останні 10 - 12 років переважна більшість гранітної сировини використовується для виготовлення виробів 2 і 4 груп [13-17].

Родовища блочного декоративного каменю України мають сприятливі гірничо-геологічні умови залягання, невелику потужність покривних порід і видобувають виключно відкритим способом. При видобуванні порід з цих родовищ повинні бути збережені міцнісні властивості і декоративна якість гірської породи. Крім цього, визначальними є розміри видобутих блоків, що обумовлено природною тріщинуватістю та обладнанням, яке застосовується при видобуванні. Вихід готових блоків знаходиться в межах від 6-10 до 50-60% від об'єму розроблюваних порід.

Величина виходу блоків з гірської маси обумовлена природною тріщинуватістю масиву. При розробці родовищ природного каменю найбільш сприятливим є наявність системи трьох взаємно перпендикулярних тріщин. Це дозволяє виконувати виймання блоків правильної геометричної форми. При плануванні гірничо-видобувних робіт на кар'єрах декоративного каменю основоположним є тріщинуватість масиву, розміри блоків, що видобуваються, фізико-механічні властивості каменю. І вже в залежності від цих факторів планується напрямок фронту гірничих робіт, висота уступів, обладнання для видобування та транспортування [18-21].

Виробничі процеси на кар'єрах ведуться в однаковій послідовності: підготовка порід до виймання, виймання та навантаження, транспортування і обробка. Питанням технології розробки родовищ природного каменю присвячені роботи [22-27].

Основним технологічним процесом, що змінює агрегатний стан і місцеположення каменю, є підготовка його до виймання. Тому не дивно, що саме цьому процесу присвячено багато наукових досліджень як вітчизняних [28 - 32], так і зарубіжних науковців [33 - 35].

В світовій практиці підготовку до виймання проводять багатьма способами направленою руйнування гірських порід, які забезпечують концентрацію критичних напружень строго в потрібних площинах розколу або розрізу каменю. У вітчизняній практиці використовується класифікація способів руйнування облицювального каменю для підготовки його до виймання, запропонована професором Баккою М.Т.

Способи руйнування порід при підготовці блокового каменю до виймання	
Механічні	Буроклиновий, бурогідроклиновий, канатне пиляння, руйнування ударно-врубними машинами, різання буровими машинами, різання дисковими пилами, відривання каменю гвинтовими пристроями
Вибухові	Підривання порохами, підривання малощільними вибуховими сумішами, підривання детонаційним шнуром (ДШ), електроімпульсне гідропідривання
Фізико-технічні	Різання термогазоструминними пальниками, плазмовими пальниками, лазерними пальниками, струменем води високого тиску, розколювання породи невибуховими руйнівними засобами (НРЗ), високочастотне розколювання

В залежності від міцності порід певні способи руйнування отримали більшого розповсюдження. Так, процес підготовки гірських порід до виймання з міцністю до 20 МПа найчастіше проводиться за допомогою каменерізальних машин з дисковими пилами, буровими машинами. Застосування цих машин дозволяє комплексно механізувати добування каменю, підвищити продуктивність праці і знизити собівартість його добування на 25...30 %. В межах середньої міцності підготовку до виймання можна проводити за допомогою каменерізальних машин, канатними пилами, в яких різальним

органом є сталевий канат діаметром 3...6 мм, та ударно-врубковими машинами.

У високоміцних породах, до яких відносяться гранітоїди, застосовують термічні, вибухові, механічні способи та їх комбінації.

На території України найбільш поширеними є вибухові способи при підготовці каменю до виймання (рис.1.3). Близько 55% каменевидобувних підприємств використовують вибухові способи. Найпоширенішим способом є підривання за допомогою детонаційного шнура (36%), підривання малоцільними ВР (14%), підривання порохом (5%).

12% припадає на використання фізико-технічних способів, основними з яких є різання термогазоструминними пальниками (7%) та розколювання породи за допомогою НРЗ (5%). Решта 33 % - це використання механічних способів, переважно використовується канатне пиляння (27%) та бурогідроклиновий (6 %) спосіб.

Останнім часом у каменевидобувній галузі спостерігається тенденція на збільшення використання механічних способів у зв'язку з підвищенням вимог до якості та довговічності [36].

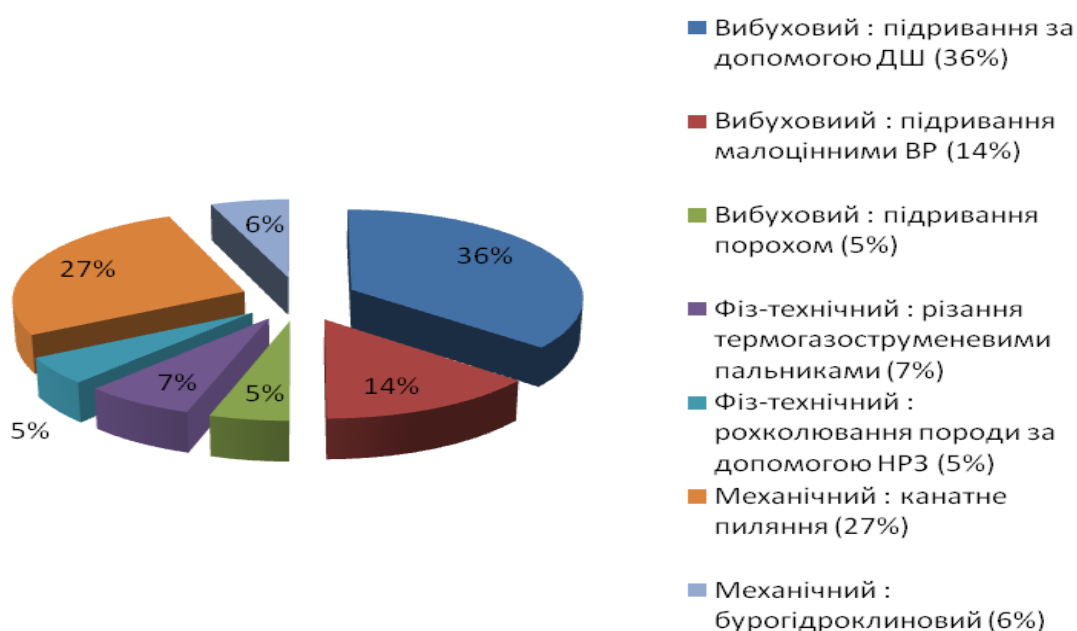


Рисунок 1.3 Діаграма використання найпоширеніших способів підготовки каменю до виймання в Україні

Значний внесок в розвиток цього питання зробила Житомирська школа науковців на чолі з професором М.Т.Баккою. В роботах [37 - 40] наведено методику оцінки втрат природного каменю при використанні буровибухових, буроклинових, термогазоструминних способів відділення блоків від масиву природного каменю. Ця методика з вивчення дії вибуху на породу базувалась на порівняльному аналізі досліджень властивостей гірських порід, видобутих різними способами. Щоб оцінити ефективність техніки прогнозування розвитку мікротріщинуватості каменю від дії енергії вибуху, вивчались закономірності зниження міцнісних властивостей породи, яке пояснюється тим, що під дією вибухових навантажень у масиві в межах певної зони виникають додаткові дислокації, тобто порушення монолітності каменю мікротріщинами.

У роботах [41 - 48] встановлено залежності зниження міцнісних властивостей і розвитку мікротріщинуватості каменю від відстані до заряду при вибухових навантаженнях.

В роботах [49 - 51] описано і запропоновано нову методику дослідження крайових зон гірських порід, яка впливає на подальше пасивування каменю. В роботах зазначено, що кожна з технологій видобування блоків природного декоративного каменю має свій вплив на їх монолітність, фізико-технічні характеристики, декоративні властивості. Були визначені пошкодження бокової грані блока, які складають: при алмазно-канатному випилюванні - 24...60 мм; при буро-вибуховій технології - 360...440 мм; при суцільному вибурюванні - 50...63 мм; при застосуванні термо-газоструминних пальників - 124...155 мм; при технології розколювання - 120...250 мм. Зроблено висновок, що найменші пошкодження отримує блок природного каменю при видобуванні суцільним вибурюванням та канатним випилюванням. Доведено, що мікротріщинуватість блочного каменю, який видобувається буровибуховою технологією, зменшується зі збільшенням відстані від краю блока до середини.

Аналіз робіт [52 - 55] показує, що спосіб руйнування порід при підготовці блокового каменю до виймання в значній мірі визначає якість видобутої сировини і собівартість продукції. Нажаль, до теперішнього часу в значній мірі застосовуються буровибухові і буроклинові способи відділення блоків міцних порід, що негативно впливає на якість сировини через збільшення тріщинуватості, знижуючи ефективність робіт і збільшуючи об'єми відходів при пасивуванні. Тому в багатьох роботах [56 - 59] визначається, що перспективним напрямком видобування природного каменю є алмазно-канатне різання.

Аналіз робіт [60 - 62] показує, що застосування алмазно-канатного пиляння на кар'єрах м'яких і середніх порід вже знайшов широке застосування. З розвитком конструкції обладнання, застосуванням в якості робочого органу сталевих канатів, армованих алмазними втулками, застосування алмазно-канатного пиляння почало розповсюджуватися і в міцних породах.

Крім монолітності та декоративності, дуже важливою характеристикою якості природних облицювальних порід є їх довговічність, зміну якої доцільно оцінювати за різною мірою порушень у вигляді мікротріщин. В роботі [63] зазначається, що для визначення довговічності каменю слід застосовувати загальноприйнятий метод Гіршвальда, що ґрунтується на результатах петрографічних аналізів. При цьому вихідним розрахунковим показником довговічності є так зване якісне число за структурою. Його визначають, враховуючи ступінь свіжості мінеральних компонентів, мінералогічний склад, характер зчеплення зерен, наявність мікротріщин і пор. Утворювані технологічні мікротріщини далі розширюються під дією атмосферних явищ, що призводить до зниження довговічності виробів. Результати досліджень коростишівських гранітів показують, що в радіусі 10...15 діаметрів заряду граніт втрачає 15-20% довговічності. Цей процес погіршується під впливом агресивного середовища. Робота [64] присвячена аналізу негативного впливу корозійних процесів на граніти та лабрадорити.

1.2 Сучасні напрямки аналізу і оцінки тріщинуватості гірських порід

Характеристики процесу руйнування гірських порід визначаються особливостями їх тріщинної структури. Фізичні закономірності зародження і розвитку тріщин лежать в основі теорій міцності А. Гріффітса, Е. Орована, Дж. Ірвіна та інших вчених.

З розвитком термофлуктуаційної теорії міцності твердих тіл С.Н. Журков проводить дослідження на розтягнення твердих тіл, при якому і відбувається руйнування крихких матеріалів, і пропонує залежності для визначення довговічності цих твердих тіл від діючого на них напруження і температури. Поняття довговічності пропонується розглядати як час від початку програми навантаження і до утворення мікродофектів [65 - 67]. В роботах М.Т. Бакки, С.О.Жукова, Р.В.Соболевського піднімається проблема зниження довговічності декоративного каменю в сучасному середовищі за рахунок посилення процесу тріщиноутворення під агресивним впливом забрудненого атмосферного повітря [68 - 72].

Вивченню тріщинуватості гірських порід і масивів як фактора їх міцності і стійкості присвячені численні дослідження М.Т. Бакки, Л.І. Барона, Б.М. Кутузова та ін.

Ієрархічність і самоподібність тріщинної структури порід обумовлюють необхідність її вивчення на макрорівні. Значний вклад у вивчення цього питання внесли вчені Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Бакуля НАН України, такі як В.А.Александров та ін. [73,74].

За останній час розвиток електронної мікроскопії обумовив сучасні методи дослідження процесів тріщиноутворення [75 - 77]. Можливість отримувати зображення поверхонь декоративного каменю в цифровому вигляді відкриває великі можливості для оцінювання якості цього матеріалу. Застосовуючи сучасні методи обчислення, можна в цифровому вигляді отримати значення концентрації тріщин, їх глибини та ін. З наукової точки зору вже доведений прямий взаємозв'язок між тріщинуватістю і якістю декоративного каменю, вказано, що

вплив агресивного середовища відбувається саме в присутності підвищеної концентрації мікротріщин. Тепер розробляються сучасні методики для непорушної оцінки якості облицювального каменю.

Один з сучасних методів обробки електронних фотографій тріщинуватої структури - це використання фрактальних залежностей для описання розвитку тріщинуватості в гірських породах. Ще у 1975 році Б.Мандельбротом [78, 79] запропоновано для описання об'єктів, які можна представити як множину з подрібнених самоподібних структур, використовувати слово фрактал (рис.1.4).

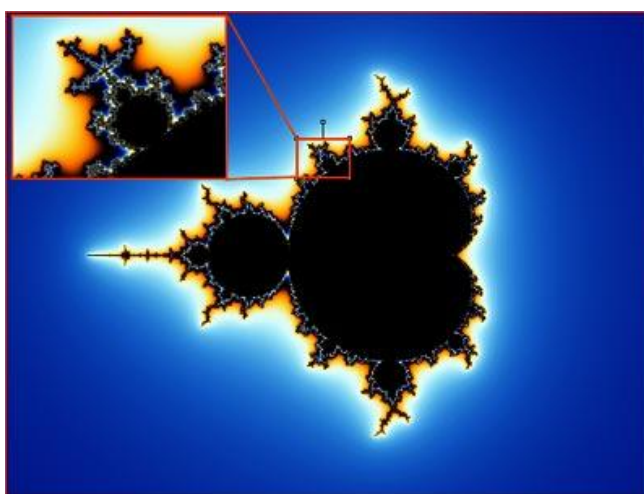


Рисунок 1.4 Класичне зображення множини Мандельброта

Фрактал (лат. *Fractus* - подрібнений, зламаний, розбитий) - математична множина, що має властивість самоподібності (об'єкт, в точності або приблизно збігається з частиною себе самого, тобто ціле має ту ж форму, що і одна або більше частин) [80]. До фрактальних об'єктів можна віднести, наприклад, лінії берегів річок, рельєф місцевості, обриси хмар, динамічні системи з хаотичною поведінкою та ін. До цього ж типу, безумовно, належать і тріщини в гірських породах. Однією з найважливіших властивостей фрактала є залежність його розмірів від масштабу виміру.

Саме на використанні математичного апарату для фрактальних об'єктів базуються останні методики вивчення тріщин. Одну з таких методик представлено в роботах [80, 81], які включають люмінесцентний

мікроскопічний спосіб фіксації координат тріщин, обчислення фрактальних характеристик та імітаційну комп'ютерну модель, що дозволяє оцінювати реальну геометрію тріщин, ступінь порушення і питому поверхневу енергію гірських порід.

Комплексна методика і комп'ютерна програма, які представлені в роботах [82, 83], полягають в тому, що дослідження тріщин проводилось методом люмінесцентної дефектоскопії, адаптованим до особливостей скельних порід. Для подальшого аналізу тріщинної структури гірських порід проводилась обробка фотографій з метою визначення координат точок контуру тріщин. За даною методикою була вивчена структура тріщин гранітів. На першому етапі вимірювання розмірів тріщин вироблялося класичним методом «палетки», при якому тріщина наперед приймається як лінійний об'єкт.

У відповідності із законом Річардсона довжина тріщини нелінійно залежить від кроку виміру δ і може бути описана залежністю

$$L_{\text{фр}} = L_0 \left[\frac{L_0}{\delta} \right]^{d_f - 1}, \quad (1.1)$$

де L_0 – лінійна довжина тріщини, яка приймається як відстань між її вершинами, мкм; d_f – її фрактальна розмірність, яка визначає справжню геометрію тріщини, δ – прийнятий крок вимірювання тріщини (прийнято 10 мкм), що відповідає роздільній здатності мікроскопа.

Використовуючи розроблену авторами методику, можна отримати діаграму розподілу тріщин різного розміру у вигляді, представленому на рис.1.5 [84].

Встановлено, що концентрація тріщин із збільшенням їх розміру закономірно знижується і може бути описана логарифмічно-лінійним розподілом виду:

$$\ln N_i = L_1 - K_L \ln (l_i), \quad (1.2)$$

де L_1 – логарифм концентрації тріщин одиничної довжини (1 мкм); K_L – темп зниження концентрації тріщин із збільшенням їх довжини.

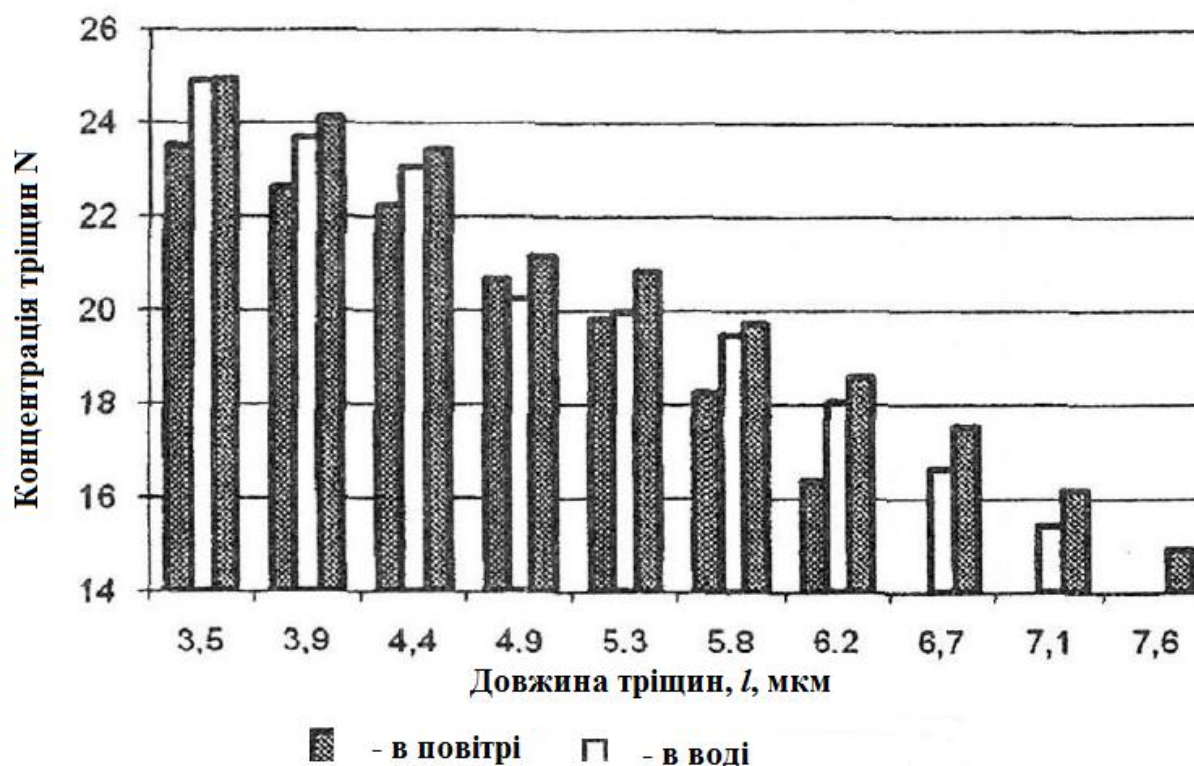


Рисунок 1.5 Концентрація тріщин - $N \cdot 10^{10}$, $1/\text{м}^3$

Для визначення фрактальної розмірності тріщин d_f найбільш простим в реалізації є метод «покриття», при якому траєкторія тріщини покривається квадратними сітками з різним розміром сторін r_i . На кожному етапі визначається число квадратів $N(r_i)$, що покривають тріщину, проводиться побудова графіка залежності $\ln N(r_i) = f(\ln r_i)$, і величина фрактальної розмірності визначається як кутовий коефіцієнт графіка $d_f = \ln N(r_i) / \ln r_i$.

Однак покриття кожної із сотень тріщин у зразку набором сіток з різними розмірами сторін вимагає великих витрат часу і пов'язане з можливістю виникнення помилки внаслідок суб'єктивного сприйняття об'єкта. Крім того, для оцінки руйнування гірських порід важливі не тільки фрактальні розмірності одиничних тріщин, але і їх просторовий розподіл у зразку. Все це вимагає подальшого розвитку методики вивчення фрактальних характеристик тріщинної структури гірських порід.

В роботі [85] пропонується використовувати авторську комп'ютерну програму, алгоритм якої полягає в наступному. Цифрова фотографія тріщинної структури гірських порід розбивається на квадрати зі стороною, відповідною роздільній здатності мікроскопа, в середовищі графічного редактора CorelDraw. Отримане зображення переноситься в систему автоматизованого проектування (AutoCAD), в середовищі якої проводиться заміна квадратних осередків точками (пікселями), визначається система координат, відповідно до якої автоматично формується таблиця координат пікселів і передається в систему MS Excel. Отримана таким чином інформація використовується в розроблених програмах визначення фрактальної розмірності одиничних тріщин, інформаційної та кореляційної розмірності, кластерного аналізу.

Таким чином, запропонована методика та програмне забезпечення аналізу фрактальних характеристик тріщинної структури гірських порід дозволяє оцінити реальну геометрію тріщин, закономірності їх просторового розподілу, динаміку розвитку тріщинної структури гірських порід.

Акцент в роботах [84,85] робиться саме на вивченні динаміки розвитку тріщинної структури, для чого було організовано серію експериментальних досліджень порід різних родовищ. У ході ступеневого навантаження зразків за допомогою описаної вище методики проводилася фотофіксація тріщин і оцінка їх фрактальних характеристик. Для оцінки енергетичних характеристик процесу паралельно проводилися виміри деформації зразків.

У дослідженнях розглядалися траєкторії магістральних тріщин по мірі їх розвитку під навантаженням. Всі відгалуження від магістральної тріщини можна поділити на види:

- зростаючі в ході збільшення навантаження і тупикові гілки;
- ділянки окремих тріщин, що зливаються на наступних стадіях навантаження;
- нові порушення (тріщини), що зароджуються й розвиваються в ході навантаження зразків.

В результаті було встановлено наступні закономірності: по мірі навантаження гірських порід спостерігається закономірне зростання тріщин, що супроводжується їх розгалуженням, гальмуванням відгалужень і злиттям спочатку відокремлених дефектів. При цьому спостерігається тенденція зростання фрактальної розмірності об'єднаної тріщини $d_{f\text{общ}}$ в порівнянні з розмірністю її фрагментів $d_{f\text{ср}}$:

$$d_{f\text{общ}} = 1,71 d_{f\text{ср}} - 0,66. \quad (1.3)$$

В цілому, чим більше лінійна довжина тріщини L_0 , тим вище її фрактальна розмірність. Рівняння можна записати у вигляді:

$$d_{f\text{общ}} = 1,02 + 0,2 L_0 \quad (1.4)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,56$. Зміну фрактальної розмірності тріщин зумовлено неоднорідністю будови (зернистістю) гірських порід. Оскільки локальне порушення розвивається, в першу чергу, по контактам мінеральних зерен, то починаючи з певної довжини (порівняної з розмірами зерен) тріщина, огинаючи нерівну поверхню зерна, набуває великого ступеня зламаності в порівнянні з її малими відгалуженнями [86].

В ході деформації зразків поряд з розвитком тріщин відбувається їх змикання і взаємодія, тобто змінюється тріщинна структура гірських порід в цілому. Взаємодіючі тріщини утворюють вогнища порушень – кластери [87]. Динаміку цього процесу можна розглядати як саморозвиток під дією навантаження кластерної структури гірських порід. Процес може бути представлений як послідовний ряд етапів розвитку тріщинних кластерів і приєднання їх один до одного. Зразок етапів представлений на рис. 1.6 [86].

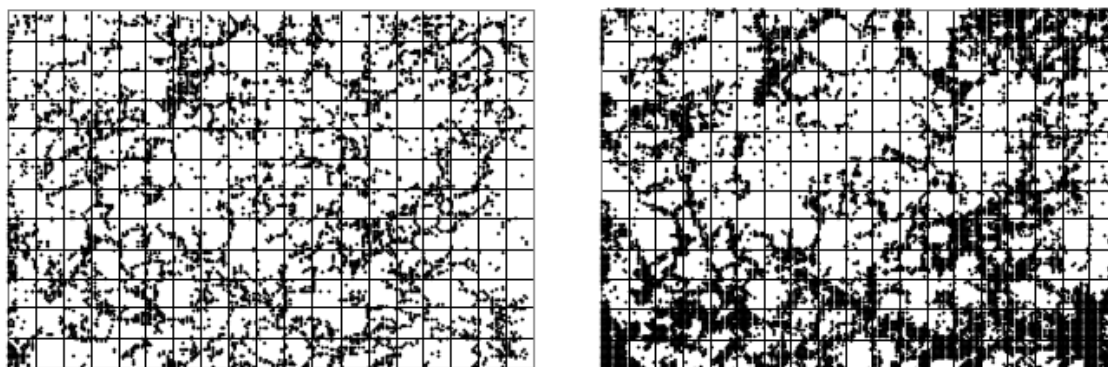


Рисунок 1.6 Формування кластерної структури порушень гірських порід

В кількісному вигляді це можна представити через фрактальну розмірність кластерів, яка визначається методом покриття:

$$d_f = \lim \left[\frac{\ln N_i}{\ln \left(\frac{1}{\delta_i} \right)} \right] + 1 \quad (1.5)$$

де N_i – число клітин розміром δ_i , —які покривають кластер.

Аналіз експериментальних результатів в роботі [86] показав нелінійний характер зростання фрактальної розмірності кластерів по мірі навантаження зразків, який представлено на рис.1.7 і описано залежністю:

$$d_f = 2,48 + 8 \cdot 10^{-5}(\sigma^2 - 8,75\sigma) \quad (1.6)$$



Рисунок 1.7 Зростання фрактальної розмірності кластерів зі збільшенням навантаження [86]

Позитивна кривизна графіка відображає прискорене зростання дефектності порід з навантаженням, що відповідає сучасним уявленням про накопичення пошкоджень в ході руйнування гірських порід.

Поряд з руйнуванням порід розвиток тріщин супроводжується зниженням їх модуля пружності (в середньому на 57%), активним розвитком

пластичної деформації при навантаженнях, що становить у середньому 69% від руйнівних напружень.

Наведені результати дослідження фрактальних характеристик тріщинної структури гірських порід дозволяють дати теоретичну оцінку міцності і руйнування вивчених порід. Для скельних порід найбільш прийнятна теорія крихкого руйнування (теорія тріщин Гріффітса), відповідно до якої міцність при розтягуванні визначиться формулою :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{2E \cdot e_s}{\pi L_{кр}}} , \quad (1.7)$$

де e_s – питома поверхнева енергія породи; $L_{кр}$ – критична довжина магістральної тріщини. В роботі [86] стверджується, що отримані результати були завищені. Пропонується визначати довжину тріщини з урахуванням формули (1.2). Геометричні характеристики тріщини і, зокрема, її фрактальна розмірність d_f можуть істотно залежати від механізму руйнування. В якості кількісної оцінки цього в роботах [85,86] пропонується вводити (Р.В. Гольдштейн, А.Б. Мосолов) поняття фрактальної в'язкості руйнування (тріщиностійкості): $K_{IC}^f \sim K_{IC} l^{(d_f-1)/2}$. Із збільшенням фрактальної розмірності магістральної тріщини спостерігається нелінійне зростання в'язкості руйнування. Даний показник не можна розглядати як константу гірської породи, оскільки в ході розвитку тріщин їх фрактальна розмірність змінюється. Критерій Гріффітса з урахуванням фрактальних властивостей тріщини в роботі [86] рекомендується записувати у вигляді:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{2E \cdot e_s}{\pi L_{кр}} \left[\frac{L_0}{\delta^*} \right]^{d_f-1}} , \quad (1.8)$$

де δ^* рекомендується обчислювати за формулою:

$$\delta^* = \exp\left(\frac{0,223}{d_f}\right). \quad (1.9)$$

Формула (1.9) дозволяє за експериментально виміряними властивостями гірських порід (E , σ_p , $\sigma_{сж}$) і встановленими фрактальними характеристиками

тріщин (L_0^{df}) здійснювати аналітичну оцінку руйнування гірських порід з позицій теорії тріщин Гріффітса.

Проте теорія Гріффітса ніяк не пояснює встановлене в дослідках зародження нових тріщин в ході навантаження гірських порід. Цей процес рекомендується описувати в роботах [86] на основі кінетичної (термофлуктуаційної) теорії міцності (С.Н. Журков). Відповідно до цієї теорії, довговічність тіла при даному рівні напруг σ визначається структурним коефіцієнтом γ і записується у вигляді:

$$t_d = t_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/kT]. \quad (1.10)$$

Тут $\gamma = q \cdot V_\phi$, де q – коефіцієнт перенапруг, що залежить від розмірів і концентрації дефектів у гірській породі; V_ϕ – флуктуаційний обсяг, пов'язаний з розмірами пластичної зони в околиці утвореної тріщини. І той, і інший показники (q і V_ϕ) змінюються в процесі навантаження гірських порід. Отже, структурний коефіцієнт γ не можна вважати константою матеріалу. Грунтуючись на відомих співвідношеннях дислокаційної теорії пластичної деформації і моделях механіки руйнування, можна отримати залежність розміру критичного дефекту від чинної напруги: $\sigma = (2E \cdot e_s / d)^{1/2}$. За структурою даний вираз відповідає критерію Гріффітса, але його отримано на основі кінетичної концепції. Тут d можна розглядати як деякий критичний розмір флуктуаційного обсягу.

Результати експериментів свідчать про те, що під навантаженням утворені тріщини розвиваються з формуванням кластерної структури. Цей процес також не може бути описаний з позицій теорії Гріффітса, орієнтованої на зростання єдиної «магістральної» тріщини. В даний час розвиток теорії міцності здійснюється в напрямку опису процесу руйнування за допомогою дилатометричного механізму на основі єдиного термофлуктуаційного підходу. Багатьма дослідниками встановлено двостадійний характер процесу руйнування гірських порід. Перша стадія (в'язке руйнування) відповідає

накопиченню пошкоджень, друга - крихкому руйнуванню, що визначається злиттям (кластеризацією) мікротріщин.

Отже, можна зробити висновки, що закономірності, які б описували та дозволяли моделювати процес розвитку тріщин і, отже, руйнування гірських порід на макрорівні, постійно уточнюються. Практичний інтерес представляє прогноз руйнування порід на макрорівні, тобто питання міцності породних масивів. В роботі [85], відповідно до енергетичної концепції руйнування порід, міцність масиву пропонується визначати коефіцієнтом неоднорідності k_n , пропорційним концентрації мікротріщин в гірській породі. Цей показник запропоновано оцінювати по відношенню роботи деформації тріщинуватої породи A_I до роботи деформації ідеально однорідної породи A_0 за відношенням $k_n = 1/3 (A_I/A_0 - 1)$.

Роботу деформування реальної тріщинуватої породи A_I можна визначити експериментально. Однак у силу неможливості однозначно оцінити величину A_0 показник k_n також залишається невизначеним.

В порушених породах тріщини взаємодіють, групуючись з утворенням вогнищ руйнування (кластерів). У цьому випадку більш достовірною оцінкою може бути використання фрактальної кластерної розмірності d_f тріщинної структури, що залежить від рівня напружень [87].

Таким чином, процес руйнування гірських порід включає дві стадії, параметри яких можна визначити динамікою зміни фрактальної розмірності кластерної структури порід і рівняннями теорії крихкого руйнування і кінетичної концепції міцності з урахуванням фрактальних характеристик тріщин.

1.3 Аналіз причин утворення зональної технологічної мікротріщинуватості при відділенні блоків від масиву

Підвищення вимог до якості видобутих блоків декоративного каменю змусило науковців проаналізувати характер, закономірності розподілу і

числові значення полів напружень в масиві для подальшого коригування технологічних параметрів відокремлення блоків.

Процес розвитку гірського тиску та зміни напружено-деформованого стану масиву порід спочатку активно вивчалися для підземних гірничих виробок в умовах залягання на значних глибинах [88]. В цьому випадку однією з основних вихідних даних для розрахунку напружень і деформацій навколо виробки є глибина її розташування, оскільки початкові напруги в масиві переважно визначаються вагою порід над виробкою. При об'ємній вазі γ і глибині H вертикальна складова дорівнює γH . Горизонтальна напруга, яка визначається пружною моделлю О.М. Динника, при дії вертикальної складової γH визначається, як $\lambda \gamma H$. При цьому за узагальненим законом Гука коефіцієнт бічного опору $\lambda = \mu / (1 - \mu)$, де μ – коефіцієнт Пуассона гірської породи.

В роботах [89, 90] зазначається, що це визначення горизонтальних напружень не завжди відповідає дійсному значенню цієї складової в масиві. Відповідно до цієї гіпотези гравітаційні сили повинні були з'явитися в масиві в той час, коли породи сформувалися як тверді і пружні тіла. Однак сили гравітації мали місце і під час формування гірських порід. Породи осадові, магматичного і метаморфічного походження перебували в рідкій фазі або були вельми пластичними, і в цей час в них існувало гідростатичне поле напружень як найбільш стабільний напружений стан. Тектонічні сили можуть призвести до зміни цього стану, але тривалість їх дії обчислюється мільйонами років, і реологія порід прагне призвести його до гідростатичного.

Вимірювання напруженого стану масиву гірських порід дає найрізноманітні результати. Одні автори [90] наводять дані, згідно з якими горизонтальна складова дорівнює 0,4-1,0 від вертикальної. Інші [91, 92], аналізуючи результати вимірювання тиску непорушеного масиву, отримані низкою дослідників, приходять до висновку, що в більшості випадків горизонтальні напруження значно перевищують γH .

На думку автора роботи [92], настільки суперечливі результати можуть бути пояснені різною дією тектонічних сил. При визначенні напружень в масиві не враховується, що напружений стан, що існує в масиві під час скам'яніння, зберігається, і при цьому сформовані зв'язки між частинками гірських порід залишаються природно застиглими. При визначенні напружень в масиві такий стан слід вважати нульовим. Отже, необхідно враховувати, що у природному стані поле напружень гірського масиву є застиглим, але утворення вільних поверхонь в ньому викликає виникнення розтягуючих напружень, прикладених до цих вільних поверхонь.

Отже, процес проведення виробки пов'язаний з появою вільних поверхонь і оголена поверхня виявляється навантаженою розтягуючим напруженням.

Згідно з класичною теорією Мора в природному стані масив представляє собою застигле поле напружень. При вийманні з масиву його частини вільні поверхні, які утворилися, піддаються дії напруження, значення якого дорівнює γH .

Якщо проводити дослідження і вибурювати керни, то на контурі протяжної виробки круглого перетину це напруження діє в радіальному напрямку. Для підтвердження існування цих напружень в роботі [93] розглянуто поведінку граніту з кернів, які були вийняті з масиву. Протягом декількох діб після виймання на поверхню зразки розширювалися. Зафіксовані при цьому сигнали акустичної емісії свідчать про те, що відбувалося утворення мікротріщин, що може бути викликано дією розтягуючих напружень. Відбувається саморуйнування керна на диски, так зване «дискування» керну (рис.1.8).

У літературі причину «дискування» кернів пов'язують з великими радіальними стискаючими напруженнями в нижній частині свердловини або поверхні (пропилу). Однак в блоці граніту немає сили, що діє на керн ззовні. Таким чином, спостереження дискування може з'явитися в результаті

внутрішніх розтягуючих сил (деформацій розвантаження), що утворюються після відбору керна.

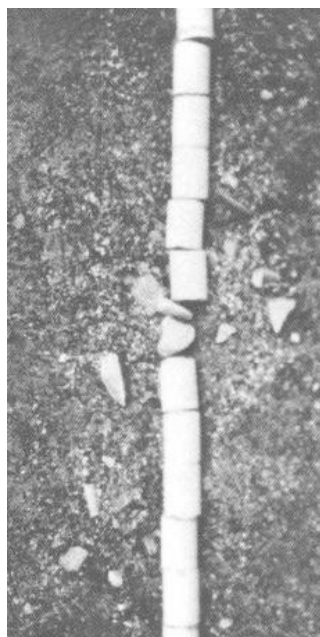


Рисунок 1.8 Дискування за рахунок розтягнення кернів діаметром 5,7 см з блоку 10x10x5,7 м

У процесі відділення блоку від масиву на кар'єрі відбувається перерозподіл напруженого стану за рахунок розвантаження окремих поверхонь. Цей процес особливо помітний в першу добу і загасає протягом 10 діб. Перерозподіл напружень відбувається не рівномірно, а зонально. Можна виділити певні зони, де значення технологічних напружень розвантаження більше, що в свою чергу призводить до активного утворення технологічних мікротріщин. Поверхневі деформації є результатом розкриття мікротріщин, паралельних до площини природної тріщинуватості, що призводить до так званих відскоків. Величина деформації є функцією кількості нових поверхонь зрізу в часі.

В результаті експериментальних досліджень були виявлені критичні зони на блоці, де буде більше технологічної мікротріщинуватості. Розподіл мікротріщинуватості по блоку нерівномірний.

Так, в роботі [94] зазначається, що останнім часом до розробки залучаються поклади блочного каменю, які разом з високою декоративністю мають досить складні системи тріщин та напружено-деформований стан. На сьогоднішній день залишається маловивченим питання видобування блоків в умовах значних горизонтальних тектонічних напружень масиву та подальшого процесу релаксації порід після відокремлення. На ряді кар'єрів блочного каменю Житомирської області спостерігаються явища «відстрілювання» шматків каменю від поверхні при оголенні нових горизонтів розробки.

Особливо важливим в цьому питанні є визначення часу, протягом якого відбувається активний процес розширення каменю. В роботі [93] відмічається, що псування товарних блоків після видобування відбувається протягом 3-7 діб і навіть декількох місяців. Усі ці явища вказують на наявність значних горизонтальних напружень, що не мають жодного відношення до дії бічного розпору від літостатичного тиску порід, оскільки проявляються на досить незначних глибинах, починаючи від покрівлі покладу.

В роботі [93] надається інтенсивність **непружних деформацій** розвантаження в блоці після його видобування.

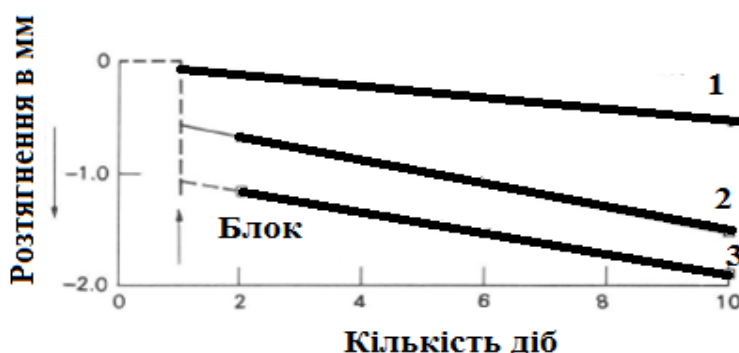


Рисунок 1.9 Залежність зміщення від часу для напрямків 1, 2 і 3 в блоці 10х10х5,7 м після його видобування

Вимірювання на блоці показали загальне розширення. Було встановлено, що деформації особливо інтенсивно проходили в перший день. Після 1-го дня по трьох напрямках (один вертикальний, другий перпендикулярний площинам тріщинуватості, а третій – паралельний

площині тріщинуватості) було встановлено, що розширення на 1-й день після видобування складало відповідно 0,25, 1,17 та 0,69 мм, а на 10-й день після видобування – 0,53, 1,91 та 1,55 мм. Авторами було зроблено висновок, що значення деформацій є функцією часу утворення нової вільної поверхні.

В роботі [94] запропоновано аналітичні розрахунки з формування полів напружень в блоках каменю, видобутого з тектонічно напруженого масиву. Вказується на прямий зв'язок розмірів блоку та значень накопичуваних напружень. Пропонується усунути процес руйнування каменю при видобуванні шляхом обмеження розмірів відокремлюваних блоків.

Але це в свою чергу призведе до зниження вартості видобутих блоків декоративного каменю (чим більше розмір – тим більше вартість).

Аналізуючи отримані авторами результати, треба зазначити, що звичайно кожний вид граніту реагує на деформації розтягнення по-своєму. Це залежить від складу граніту, переважної присутності певних мінералів і їх **міцнісних характеристик**. Саме це може бути визначальним фактором у встановленні причин саморуйнування блоків після їх видобутку на деяких кар'єрах.

1.4 Постановка задач дослідження

Проаналізувавши сучасні уявлення про фізику руйнування гірських порід, можна зробити висновок, що визначальним фактором є зародження і розвиток тріщин в породах. Спочатку наукові дослідження про руйнування твердого тіла базувалися на теорії крихкого руйнування Гріффітса, згідно якої міцність порід визначається розмірами тріщин і питомою енергією їх поверхні. Саме в цих дослідженнях вперше було зазначено, що найбільш важливим для міцнісних характеристик крихкого твердого тіла є мікротріщинуватість. Це і лягло в основу наступних наукових досліджень в напрямку так званої мікродефектної теорії міцності.

Наступний етап розвитку теорії міцності твердих тіл характеризується виникненням термофлуктуаційної теорії міцності, де була отримана залежність для визначення довговічності від діючих полів напружень та температури.

Отже, базуючись на висновках сучасних напрямків наукових досліджень, висвітлених в роботі, можна зробити висновок, що саме виникнення підвищених полів напружень впливає на активізацію процесу тріщиноутворення в гранітах. З активним розвитком сучасної електронної мікроскопії ми можемо отримувати зображення систем тріщин не тільки на поверхні, але і по всій глибині. Залишається розробка сучасних методик оцінки тріщинуватості.

В роботі проаналізовано напрямок досліджень, який почав активно розвиватися за останні роки, де пропонується використовувати фрактальну геометрію для описання процесу руйнування гірської породи. На основі фрактальної геометрії не тільки описують форму і структуру тріщин гірських порід в кількісному виразі, але і встановлюють напрямок їх розповсюдження. В роботі проаналізовано результати використання фрактальної теорії вітчизняними науковцями для геостатистичних методів дослідження Житомирських родовищ. Це перспективний метод аналізу, але він потребує розроблення авторського програмного забезпечення для використання математичного апарату фрактальної теорії. На практиці, при оцінці як вже готових виробів з граніту, так і видобутих блоків необхідні ще й методи для оцінки тріщинуватості, які б дозволили швидко оцінити отримані цифрові зображення зразків, не потребуючи витрат на прикладні програми, а з використанням розповсюджених софтів.

Напрямки досліджень з питання формування полів напружень в гранітних масивах, представлених в роботі, показують домінування досліджень для виробок глибокого закладання. Представлено роботи, в яких піднімається питання про своєрідність формування полів напружень і необхідність більш досконалого вивчення цього питання, що обумовило

дослідження з моделювання формування полів напружень в період відділення блоків з масиву в кар'єрах блокового декоративного каменю для умов Житомирських родовищ з метою виявлення зон підвищених напружень, де більш ймовірно і утворюється підвищена технологічна тріщинуватість. Моделювання цього процесу може не тільки вказати на зони підвищених напружень, але і допомогти зменшити їх через зміну технологічних параметрів відокремлення блоків від масиву.

Згідно з викладеними положеннями відносно стану питання у вступі до роботи сформульовано основні задачі досліджень.

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБІВ РУЙНУВАННЯ ПОРІД ПРИ ПІДГОТОВЦІ БЛОКІВ ДО ВИЙМАННЯ КАМЕНЮ НА ЙОГО ТРІЩИНУВАТИСТЬ

В багатьох роботах вітчизняних вчених [18, 20, 22] зазначається, що порушення монолітності каменю в процесі його видобування різко знижує його якість. Називаються чинники, які впливають на якість блоків декоративного каменю. Їх поділяють на природні і технологічні. На чинники природного походження ми вплинути практично не в змозі, тому наукові дослідження йдуть в напрямку вдосконалення технологічних чинників. Саме спосіб підготовки каменю до виймання і є основним фактором впливу на зміну фізико-механічних властивостей і дефектності блокового каменю. Від вибору способу підготовки блокового каменю до виймання залежить врешті решт і якість отриманої продукції. Ґрунтуючись на дослідженнях, представлених в розділі 1, найпоширенішими способами підготовки каменю до виймання в Україні є вибухові способи і останнім часом бурхливо розвивається механічний спосіб із використанням канатного пиляння.

Для оцінки ступеню руйнування гірської породи в результаті впливу способу підготовки блоків до виймання виникає необхідність аналізу інтенсивності процесу технологічного тріщиноутворення.

2.1. Метод неруйнівного контролю і виявлення прихованих дефектів в блоках

Однією з найважливіших технічних характеристик облицювального каменю є його довговічність, тобто здатність каменю чинити опір різного роду зовнішнім впливом, зберігаючи свої властивості в певних умовах експлуатації. В роботах [41, 44, 45] піднімається актуальне питання про встановлення взаємозв'язку між фізико-механічними параметрами природного каменю та

його довговічністю. Фізико-механічні властивості порід поділяють на деформаційні, міцнісні і реологічні.

Міцнісні властивості визначаються під час руйнування порід навантаженнями, які дорівнюють критичним або перевищують їх і проводяться в лабораторних умовах із застосуванням пресів, в результаті чого встановлюється гранична міцність на стискання і розрив.

Деформаційні властивості характеризують поведінку породи під навантаженням, яке не перевищує критичне і відповідно не призводить до руйнування. Показники деформаційних властивостей, відповідно до закону Гука, пов'язані між собою співвідношеннями, які дозволяють за відомим модулем пружності (модуль Юнга) та коефіцієнтом Пуассона визначити інші.

Особливістю дослідження блоків декоративного облицювального каменю є їх унікальність і цінність, і тому випробувати їх руйнівними методами можна тільки один раз без подальшого застосування. Тому вивчення зміни властивостей міцності блоків без руйнування гірської породи шляхом застосування сучасних методик і обладнання є пріоритетним напрямом дослідження. За останні роки з'явилося декілька методик дефектоскопії, які дозволяють проводити неруйнівний контроль якості каменю і виробів з нього з метою виявлення внутрішніх і прихованих дефектів. Виходячи з того, що дефекти змінюють фізичні властивості матеріалу, а саме щільність, електропровідність, магнітні, пружні властивості тощо, в основу існуючих методів дефектоскопії закладено дослідження фізичних властивостей порід при дії на них рентгенівських, інфрачервоних ультрафіолетових і гамма-променів, радіохвиль, ультразвукових коливань, магнітного та електростатичного полів тощо. До найбільш розповсюджених методів виявлення дефектів блоків можна віднести: ультразвуковий, кольоровий, люмінесцентний та візуальний.

Найбільш простим методом дефектоскопії є візуальний – неозброєним оком або за допомогою оптичних приладів. Візуальна дефектоскопія дозволяє виявляти лише поверхневі дефекти. Добре відомий метод виявлення тріщин,

які виходять на поверхню блока, полягає в зволоженні водою чистої поверхні блока і візуальному спостереженні картини тріщинуватості, що і дозволяє зробити висновок про дефектність блока. Цей метод має ряд недоліків, які полягають в обмеженості використання в холодну пору року, неможливість цифрової обробки результатів дефектоскопії. Результати дефектоскопії швидко зникають з поверхні каменю, що призводить до необхідності періодичного повторення операції з виявлення дефектів.

З розвитком сучасних технічних засобів візуальну діагностику дефектності можна проводити з отриманням цифрових зображень, які можна в подальшому обробляти.

В представленій експрес-діагностиці використано зразки каміння, які були видобуті за допомогою вибухової технології і канатного пилення з Лезніківського родовища граніту, Межирицького і Капустянського. Використання бінокулярного мікроскопа Konus 5424 (рис. 2.1) і фотоапарата Canon, дозволили отримати фотографії тріщин зі збільшенням в 7 разів (табл. 2.1).



Рисунок 2.1 Стереомікроскоп KONUS CRYSTAL-PRO (5424)

Таблиця 2.1 Технічна характеристика KONUS CRYSTAL-PRO (5424)

Класифікація	стереоскопічний
Призначення	професійний
Тип	оптичний
Кількість окулярів	2 шт. (EWF 10x)
Максимальне збільшення	45 крат
Мінімальне збільшення	7 крат
Підсвічування	галогенна
Насадка	тринокулярна
Додаткові функції	регулювання відстані між зіницями, діоптричним коригуванням

Результати даного дослідження представлені у вигляді фотознімків на рис. 2.2 – 2.4.

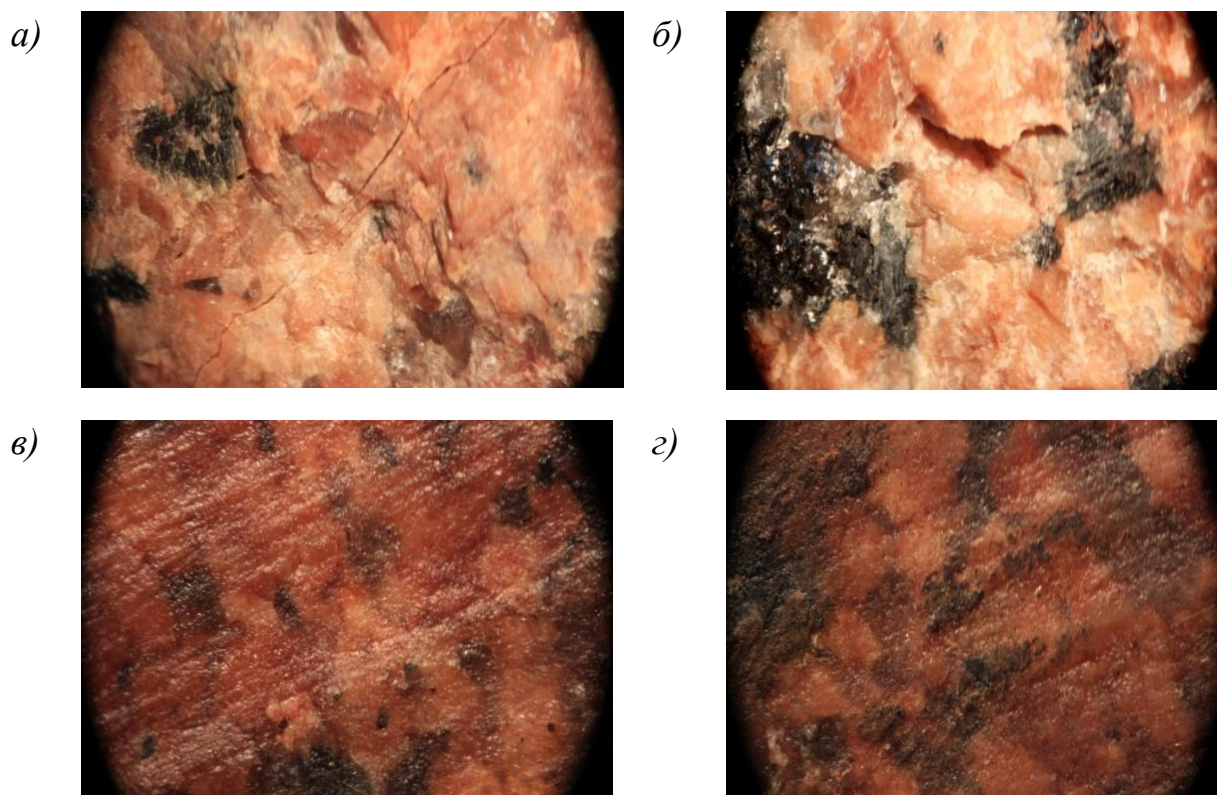


Рисунок 2.2 Граніти Лезниківського родовища: а, б – метод видобутку БВС, в, з – канатне різання

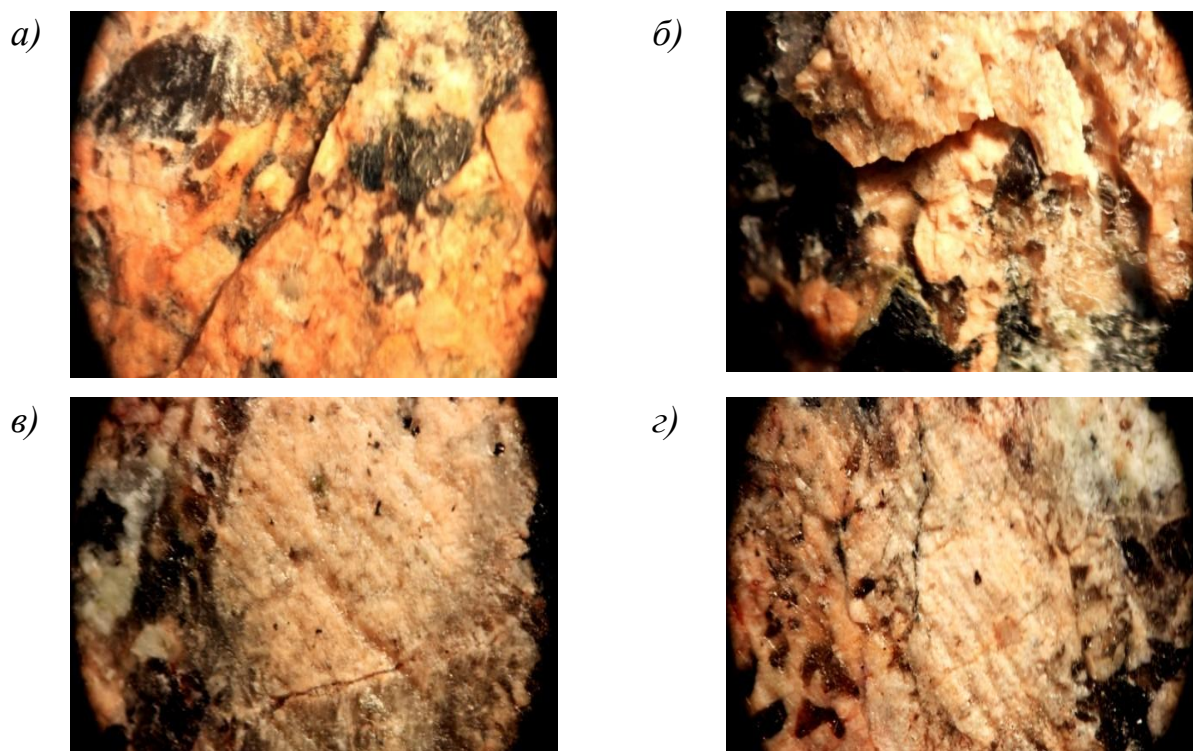


Рисунок 2.3 Граніти Межиріцького родовища: *а, б* – метод видобутку БВС, *в, з* – канатне різання

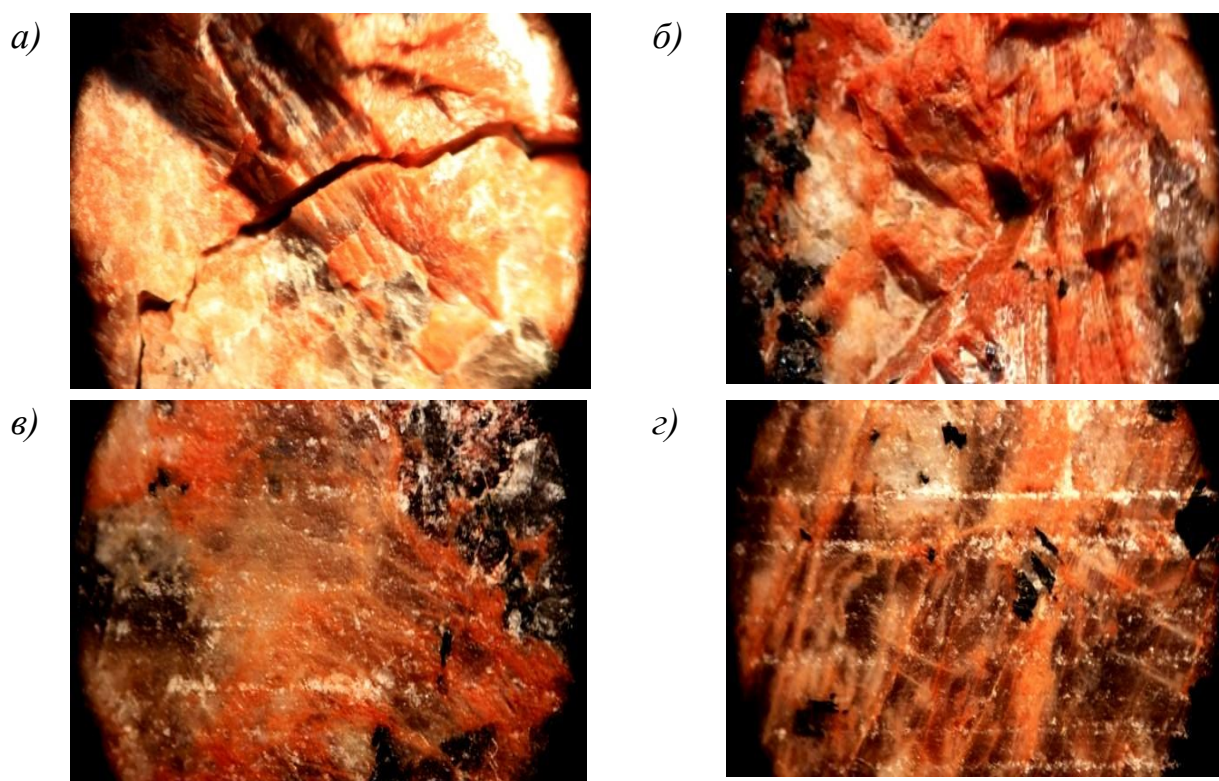


Рисунок 2.4 Граніти Капустянського родовища: *а, б* – метод видобутку БВС, *в, з* – канатне різання

Проаналізовані результати досліджень свідчать про те, що в досліджених зразках при застосуванні буро-вибухової технології пошкодження каменю в кількісному і якісному співвідношенні набагато суттєвіші. Спостерігається велика кількість розломів значних розмірів, що відповідно буде знижувати якість каменю.

Застосування ультразвукових методів при дослідженні гірських порід дозволяє значно розширити коло питань, пов'язаних з вивченням фізичних властивостей та структурних особливостей гірських порід. Головним питанням, яке успішно можна вирішити за допомогою ультразвукових методів дослідження гірських порід, є вивчення внутрішньої структури гірських порід та її взаємозв'язок з акустичними характеристиками, вплив внутрішньої будови гірських порід на анізотропію властивостей та інші питання. Як фізична характеристика, в дослідженнях приймається швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль у зразках гірських порід.

Суть імпульсного ультразвукового методу вимірювання швидкості розповсюдження пружних хвиль в зразках гірських порід відображена в роботах [95] і полягає в наступному. У досліджуваному середовищі безперервно випромінюються у вигляді короткого «пакета» ультразвукові імпульси. Вони приймаються, підсилюються і подаються на індикатор, за допомогою якого вимірюється час розповсюдження імпульсу для випадків, коли перетворювачі знаходяться в контакті один з одним та коли вони розділені досліджуваним середовищем. За часом проходження ультразвукового імпульсу крізь досліджуване середовище при відомій відстані між п'єзоперетворювачами можна визначити швидкості розповсюдження поздовжньої або поперечної хвилі в зразку. Коли пружні властивості досліджуваного середовища змінюються, то змінюється і час проходження ультразвукового імпульсу через нього, а відповідно, і швидкість розповсюдження пружної хвилі теж змінюється.

Імпульсні ультразвукові методи визначення швидкості розповсюдження пружних хвиль в зразку поділяються (рис. 2.5) на: *а* – метод прозвучування; *б* – метод поздовжнього профілювання; *в* – метод кратних відбиттів (ехо-метод).

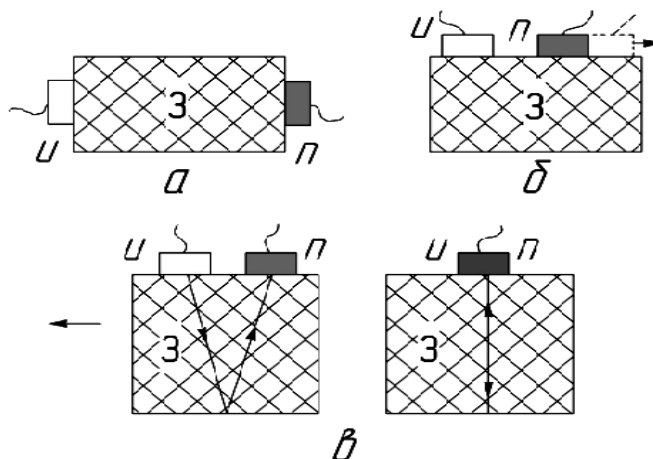


Рисунок 2.5 Імпульсні ультразвукові методи визначення швидкості розповсюдження пружних хвиль в зразку: *а* – метод прозвучування; *б* – метод поздовжнього профілювання; *в* – метод кратних відбиттів (ехо-метод)

Оскільки в лабораторних умовах вимірювання швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль проводиться на менших за розмірами блоках, то необхідно вибирати такі розміри зразків гірських порід, у яких при мінімальних співвідношеннях поперечних розмірів до довжини хвилі одержані значення швидкостей розповсюдження пружних поздовжніх хвиль у зразках гірських порід можна було б вважати швидкостями розповсюдження поздовжніх хвиль у безмежному середовищі (в масиві).

З удосконаленням технічного прогресу з'явилися покращені апаратні можливості для використання даного методу, а це сприяє подальшій перспективі його розвитку, як одного з найефективніших неруйнівних методів при дослідженні внутрішньої структури та механічних властивостей гірських порід. Для виконання даної роботи використовувався ультразвуковий дефектоскоп італійської фірми MATEST модель C372N (рис. 2.6).

Даний прилад призначений для виявлення дефектів, порожнин, дрібних тріщин всередині декоративних плит і блоків, і контролю впливу внаслідок

факторів навколишнього середовища. За допомогою приладу можна визначити дані про однорідність матеріалу, створюючи ультразвукові імпульси, які передаються в продукт.

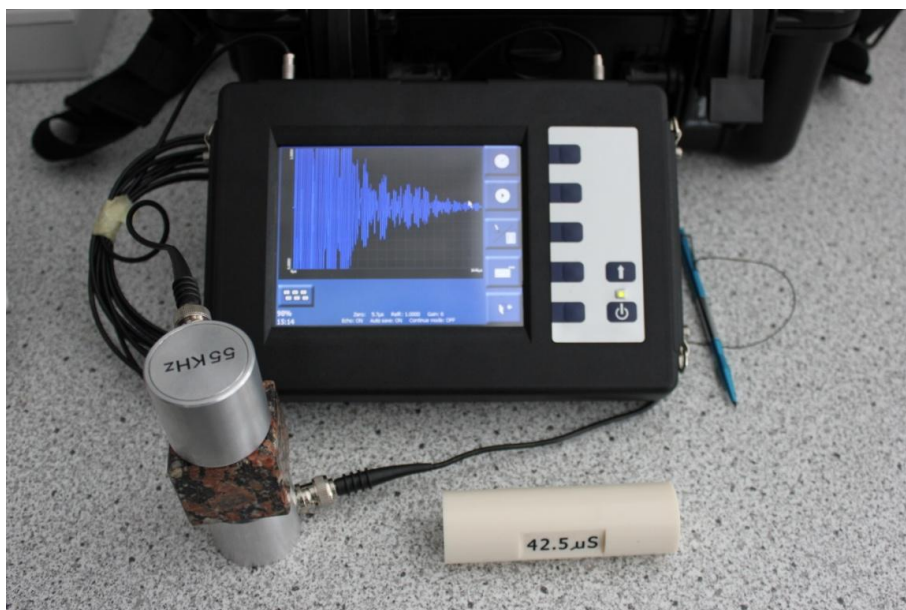


Рисунок 2.6 Загальний вигляд ультразвукового дефектоскопа італійської фірми MATEST модель C372N

В приладі також передбачено функції: вимірювання часу, необхідного для проходження сигналу від ультразвукового передавача через вибраний матеріал до датчика-приймача, розрахунок швидкості проходження ультразвукового імпульсу чи сигналу через матеріал (при заданій відстані між передавачем і приймачем), розрахунок відстані між приймачем і передавачем (при заданій швидкості імпульсу) через вибраний матеріал, розрахунок модуля пружності (при заданій відстані між передавачем і приймачем).

Можливо отримати ступіть стиснення під час випробування, приєднав ультразвуковий дефектоскоп до цифрового м'якого молотка моделі C386N.

Прилад складається з наступних частин:

- сенсорний екран з ЖК-дисплеєм розширенням 640*480 пікселів із вмонтованою флеш-пам'яттю 64 Мб і мембранною клавіатурою;
- зовнішній блок живлення 220/24 В і зарядний пристрій для акумулятора;

- 2 п'єзометричних ультразвукових датчика 55 кГц і з'єднувального проводу;
 - калібрувальний циліндр;
 - контактне рознімання для ультразвукових датчиків;
 - прилад в протиударному корпусі і валізка для транспортування.
- Розміри та маса приладу складають: довжина – 400 мм, ширина – 300 мм, висота – 180 мм, маса – 3 кг.

При вмиканні приладу з'являється головний екран.

На екрані відображаються наступні дані:

- в нижній лівій частині – величина $Abs[\mu s]$ – час абсолютного прольоту, зчитуваний приладом;
- в нижній правій частині – величина $Rel [\mu s]$ – час відносного проходження сигналу, який розраховується за формулою:

$$tFlightR = (tFlightA - \text{нуль}) * RefK(\text{неактивне echo}) \text{ чи } tFlightR = (tFlightA - \text{нуль}) * RefK/2 (\text{активне echo});$$
- в нижній центральній частині розрахована величина, відповідна вибраному розміру;
- в центральній частині – поточна діаграма Graph.

Для визначення потрібних параметрів ще використовується таблиця 2.2.

Вибрані розміри розраховують за наступними формулами:

1. Довжина: $L = V * R / 1000000$
2. Швидкість: $V = L * 1000000 / R$
3. Модуль пружності:

$$E = \rho * (V^2 * 3 * [L * 1000000 / R]^2 - 4 * (V^2 / (L * 1000000 / R))^2 - (V)^2$$

4. Міцність на стиснення: $M = (L * 1000000 / R)^{0,80840} * (N)^{1,88148} / 25000$
5. Глибина тріщини: $H = L/2 * \sqrt{R^2 / (L * 1000000 / V)^2 - 1}$

Таблиця 2.2 Визначення потрібних параметрів з обліком максимальних величин

Розмір	Параметр	Мінімальна величина параметра	Максимальна величина параметра
Швидкість [м/с]	Довжина [м]	1	5000
Довжина [м]	Швидкість [м/с]	0,1	10 000000
Модуль пружності [Па]	Швидкість зсуву [м/с]	0,1	10 000000
	Щільність [кг/м ³]	1	5000
	Довжина [см]	1	5000
Міцність на стиск [Н/мм ²]	Ступінь стиску	1	500
	Довжина [см]	1	5000
Глибина тріщини [м]	Швидкість [м/с]	0,1	100 000000
	Довжина [см]	1	5000

В даній роботі досліджувались зразки гранітних виробів з таких родовищ: Покостівське, Корнинське та Капустянське, з наступними фізико-механічними властивостями (Додаток А).

Таблиця 2.3 Фізико-механічні властивості зразків

Назва родовища	Межа міцності на стиск, МПа	Стирання, %	Густина, кг/м ³	Водопоглинання, %	Сумарна активність радіонуклідів, Бк/кг
Корнинське «Leopard»	109,5	Не більше 0,9	2680	Не більше 0,5	284
Капустинське «Rosso Santiago»	116	Не більше 0,25	2745	Не більше 0,2	294
Покостівське «Grey Ukraine»	209	Не більше 0,69	2740	Не більше 0,23	252

Наведені зразки досліджувались ультразвуковими хвилями за трьома параметрами, такі, як час проходження хвилі, швидкість проходження, а також модуль пружності для зразків, видобутих вибуховим способом і алмазно-канатним способом. Результати цих досліджень представлені в Додатку В.

У представлених дослідженнях аналізувалися гранітні зразки, які були вирізані з блоків, видобутих із застосуванням двох різних технологій –

вибухової і алмазно-канатного різання з трьох родовищ: Покостівського, Капустянського і Корнинського. За допомогою ультразвукового дефектоскопа С372N, з урахуванням анізотропії гранітів був визначений модуль пружності і отримані результати вимірів, що графічно представлені на рис. 2.7 – 2.9.

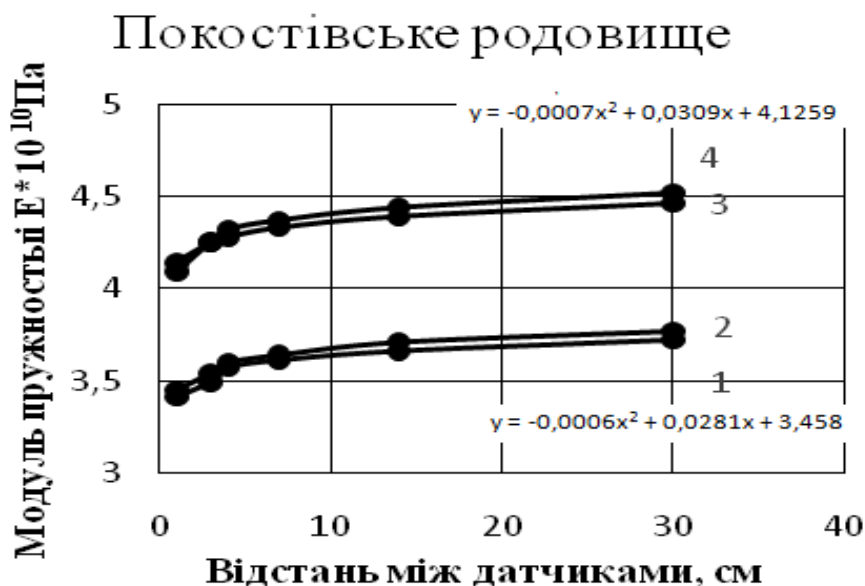


Рисунок 2.7 Модуль пружності для зразків Покостівського родовища граніту

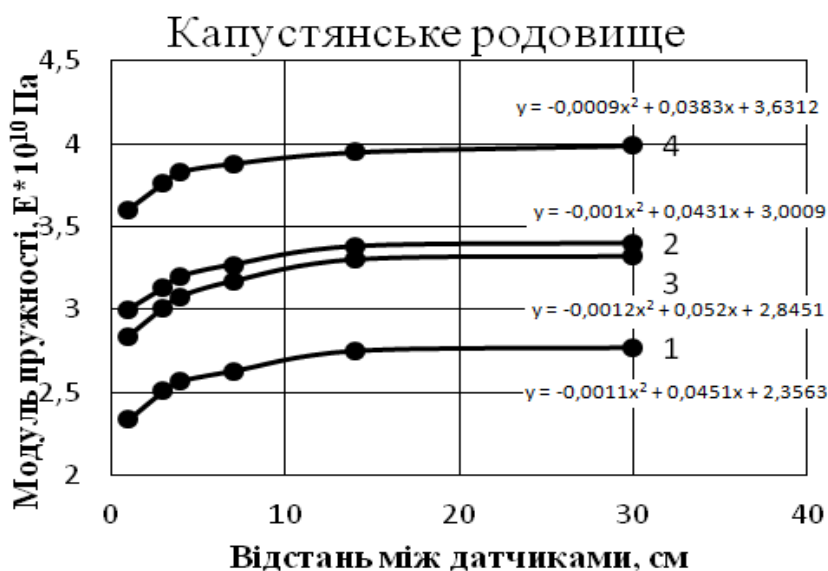


Рисунок 2.8 Модуль пружності для зразків з Капустянського родовища граніту

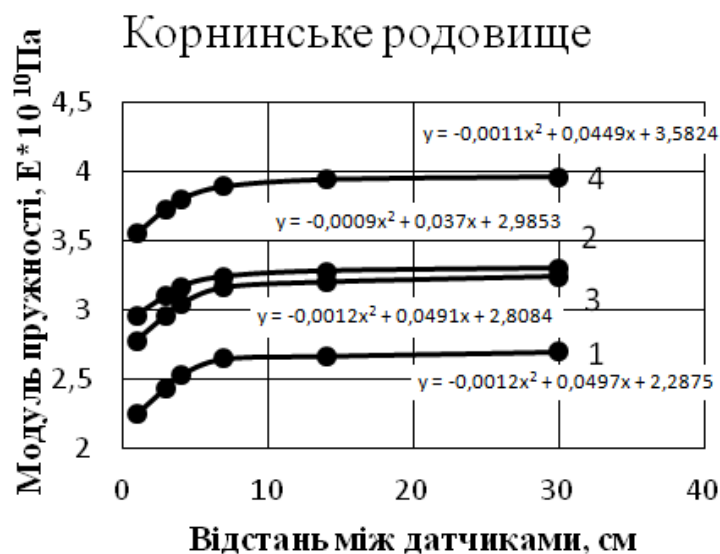


Рисунок 2.9 Модуль пружності для зразків з Корнинського родовища граніту

На рис. 2.7 – 2.9 , криві 1, 2 – значення модуля пружності, $E \cdot 10^{10}$ (Па) при вибуховому способі видобування блоків по горизонталі і вертикалі відповідно, криві 3, 4 – значення модуля пружності, $E \cdot 10^{10}$ (Па) при способі видобування блоків із застосуванням алмазно-канатних пил по горизонталі і вертикалі відповідно.

В результаті застосування динамічного методу визначення деформаційних властивостей досліджуваних зразків гранітів були отримані залежності зміни модуля пружності при різних способах відокремлення. Як було зазначено в розділі 1, одним з основних факторів, визначаючих властивості гірських порід і маркеруючим розривні порушення, є тріщинуватість. Динамічний модуль пружності і коефіцієнт Пуассона є визначальними пружними характеристиками матеріалів. Від того, чи збільшується модуль пружності в зразках, чи зменшується, залежить зміна концентрації тріщинуватості породи.

В результаті експериментів маємо наступні результати: з усіх родовищ граніту, які досліджувались, маємо найбільші значення модулів пружності у зразках, які були відібрані з блоків, відділених із застосуванням алмазно-канатних технологій. Отримані експериментальні дані в поєднанні з

емпіричними формулами дозволять визначити міцнісні характеристики блоків. А отже, можемо зробити висновки, що з підвищенням міцнісних характеристик підвищується строк експлуатації виробів з таких блоків і довговічність таких блоків буде теж вище.

Завдяки застосуванню сучасного ультразвукового дефектоскопа оцінку якості блокової продукції можна робити не лише по краям блоків, але і враховувати весь блок, що дає повну оцінку якості продукції.

2.2. Експериментальне визначення тріщинуватості природного каменю із застосуванням мікроскопічного методу

Мікроскопічний метод дослідження, описаний в роботах [96, 97], широко застосовується в різних галузях і дозволяє вивчати будову мікроскопічних об'єктів, розміри яких лежать за межами роздільної здатності ока людини. Основу мікроскопічного методу становить світлова та електронна мікроскопія. У практичній та науковій діяльності, крім звичайної світлової мікроскопії, використовують фазово-контрастну, інтерференційну, люмінесцентну, поляризаційну, стереоскопічну, ультрафіолетову, інфрачервону. В основі цих методів лежать різні властивості світла. При електронній мікроскопії зображення об'єктів дослідження виникає за рахунок спрямованого потоку електронів. Для світлової мікроскопії та заснованих на ній інших мікроскопічних методів дослідження визначальне значення, крім роздільної здатності мікроскопа, має характер і спрямованість світлового променя, а також особливості досліджуваного об'єкта, який може бути прозорим і непрозорим. Залежно від властивостей об'єкта змінюються фізичні властивості світла – його колір і яскравість, пов'язані з довжиною і амплітудою хвилі, фаза, площа і напрям поширення хвилі. На використанні цих властивостей світла і будуються різні мікроскопічні методи дослідження.

В роботі використовується методика дослідження, яка була розроблена В.А. Александровим, академіком Інституту надтвердих матеріалів імені В.Н.

Бакуля, який застосовував мікроскопічний метод для вивчення робочої поверхні алмазно-абразивного інструмента. До основних параметрів, які характеризують робочу поверхню інструмента, відноситься форма, геометрія і робочий стан зерен, розподілення зерен і відстань між ними в об'ємі алмазного шару і на поверхні робочих елементів, розподіл зерен по виступанню над рівнем зв'язки. Для цього В.А. Александров використовував мікроскоп поляризаційний МІН-8 (рис. 2.10), який призначений для дослідження прозорих препаратів в звичайному або поляризованому світлі в коноскопичному і ортоскопічному ході променів.

Мікроскоп може застосовуватися для різних робіт у галузі мінералогії, петрографії, мінераграфії, а також у галузі біології та хімії. Мікроскоп спільно з освітлювачем ОІ-12 може бути застосований для дослідження непрозорих об'єктів у відбитому світлі (як в поляризованому, так і звичайному).



Рисунок 2.10 Зображення мікроскопа МІН-8

З мікрофотонасадкою типу МФН мікроскоп забезпечує можливість фотографування досліджуваних об'єктів. Крім того, конструкція мікроскопа дозволяє вести роботу зі столиком Федорова, пристроєм для спостереження методом фазових контрастів КФ-1 і конденсором темного поля ОІ-13.

В роботі застосовувався мікроскопічний метод з метою оцінки тріщинуватості природних каменів. Для цього було використано стенд, який складається з мікроскопа ЛомоМетам Р-1 з CCD відеокамерою Digital КОСOM при збільшенні об'єктивів в 175, 360 і 900 разів (рис. 2.11).

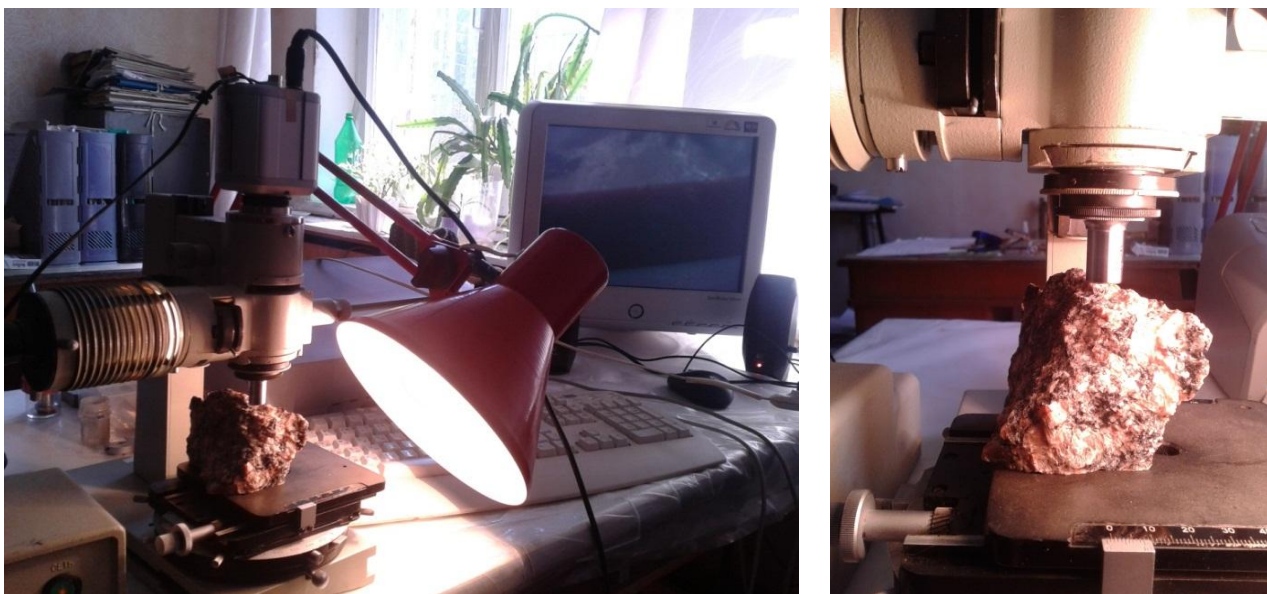


Рисунок 2.11 Зображення стенду який застосовувався в роботі

За допомогою мікроскопа на зразках була обрана площа 2×2 см та виявлені тріщини: $l_1 - l_9$.

Для подальшого аналізу тріщинної структури гірських порід потрібна обробка фотографій з метою визначення контуру тріщин. В роботах [96, 97] розроблено і апробовано комплексну процедуру із використанням можливостей CorelDraw, AutoCAD і Microsoft Excel. За даною методикою вивчалась тріщина структура гранітів.

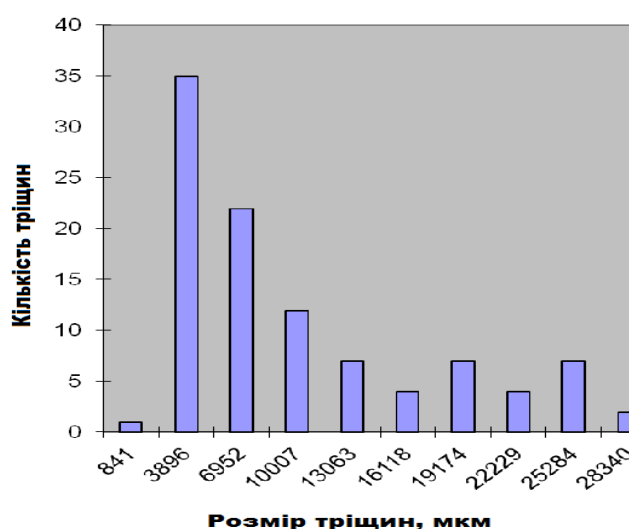
На першому етапі вимірювання розмірів тріщин дані оброблялися класичним методом «палетки», при якому тріщина наперед приймається як лінійний об'єкт. Встановлено, що концентрація тріщин із збільшенням їх розміру закономірно знижується і може бути описана логарифмічно – лінійним розподілом виду:

$$\ln N_i = L_1 - K_L \ln (l_i), \quad (1)$$

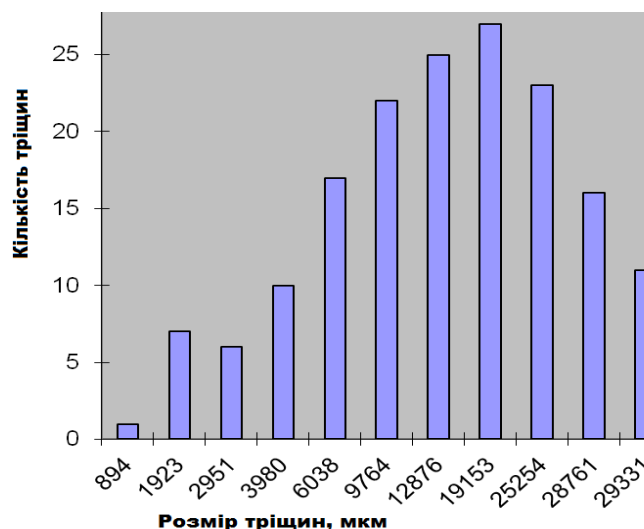
де L_1 – логарифм концентрації тріщин одиничної довжини (1 мкм); K_L – темп зниження концентрації тріщин із збільшенням їх довжини. Результати досліджень наведені у Додатку С. Далі визначаємо площу тріщин та їх розмір, отримані дані наводимо в Microsoft Excel в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Зведена таблиця для визначення залежності розміру тріщин від їх кількості

Розмір тріщин, мкм	Кількість тріщин	Розмір тріщин, мкм	Кількість тріщин
для способу видобування із застосуванням канатного розпилю			
841	1	16118	4
3896	35	19174	7
6952	22	22229	4
10007	12	25284	7
13063	7	28340	2
для способу видобування із застосуванням вибуху			
894	1	12876	25
1923	7	19153	27
2951	6	25254	23
3980	10	28761	16
9764	22		



а



б

Рисунок 2.12 Діаграма розподілу кількості тріщин в залежності від їх розміру для: а – способу видобування із застосуванням канатного розпилю; б – способу видобування із застосуванням вибуху.

Проте справжня геометрія тріщин далека від лінійної і не може бути описана топологічною розмірністю. Тому в дослідженнях використовувався

сучасний скануючий електронний мікроскоп ZEISS EVO 50XVP виробництва фірми ZEISS, укомплектований енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCA450 з детектором INCAPentaFETx3 та системою HKL CHANNEL-5 для дифракції відбитих електронів виробництва фірми OXFORD (рис. 2.13).

Обладнання: просвічуючий електронний мікроскоп FEI Tescan 20 G2 TWIN з прискорюючою напругою 200 кВ, збільшення – 700 тис. крат, роздільна здатність – близько 0,27 нм; растровий електронний мікроскоп Zeiss EVO 50 XVP, збільшення – до 1 млн. крат, роздільна здатність – 2 нм; комплект інструментів для механічної підготовки об'єктів.



Рисунок 2.13 Зображення мікроскопа ZEISS EVO 50XVP

Можливості обладнання: дослідження внутрішньої будови металевих і неметалевих матеріалів; дослідження особливостей будови поверхні, вивчення хімічного складу в локальних областях об'єктів; високоточний аналіз

розподілу хімічних елементів; отримання фотографій високої роздільної здатності в цифровому вигляді; отримання зразків, призначених для вивчення в просвіченому електронному мікроскопі в автоматичному режимі. За допомогою мікроскопа уточнювалась площа тріщин та їх глибина.

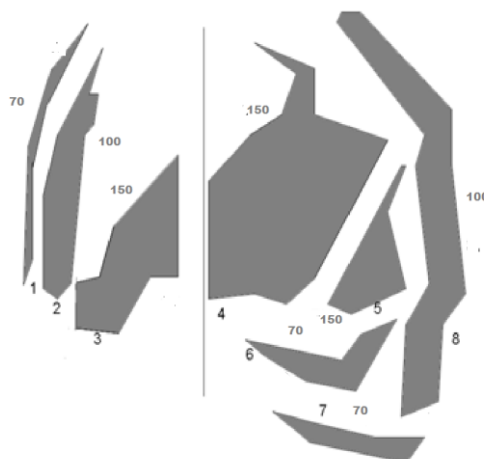


Рисунок 2.14. Зображення тріщин глибиною від 70 мкм до 150 мкм при видобуванні із застосуванням канатного розпили

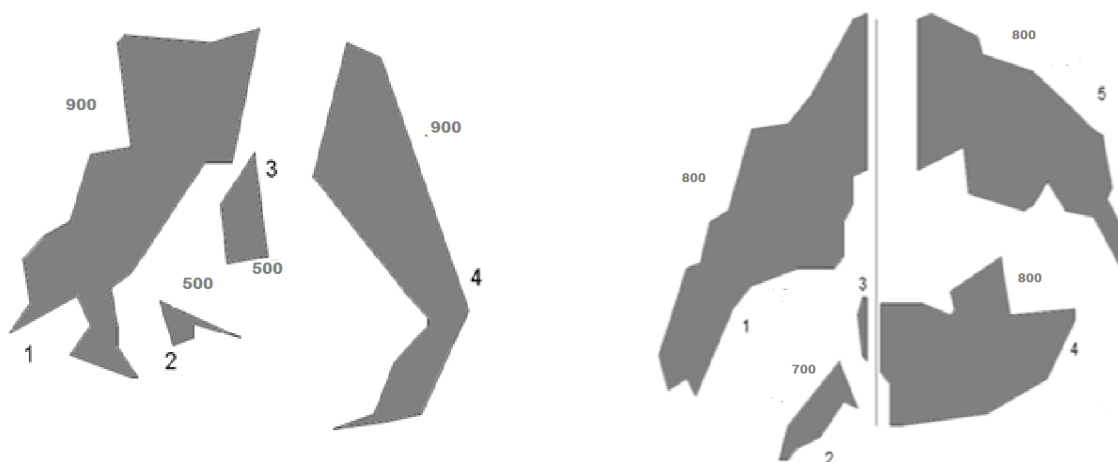


Рисунок 2.15 Зображення тріщин глибиною від 100 мкм до 900 мкм при видобутку вибухом

В роботах [41, 44] було зазначено, що реальна міцність гірської породи залежить від розмірів і кількості дефектів і тріщин. Це обумовлено існуванням підвищеного рівня напружень в околицях вершин тріщин в порівнянні з

напругою для ізотропного середовища і взаємодією суміжних тріщин. В умовах наявності великої кількості природних концентраторів напружень (мікротріщин) в зразку гірської породи руйнування методом розтягнення при вигині може статися в будь-якій точці. Для руйнування зразків гірської породи в заданому перерізі в роботі [45] були штучно створені надрізи різного розміру. Проведено оцінку міцності зразків граніту зі штучно створеними надрізами і виконано порівняння експериментальних даних з класичними теоретичними підходами Гріффітса, Нейбера, Савіна до розвитку концентраторів напружень. На рис. 2.16 наведено експериментальні і розрахункові залежності міцності граніту на розтягнення від розміру концентратора-надрізу.

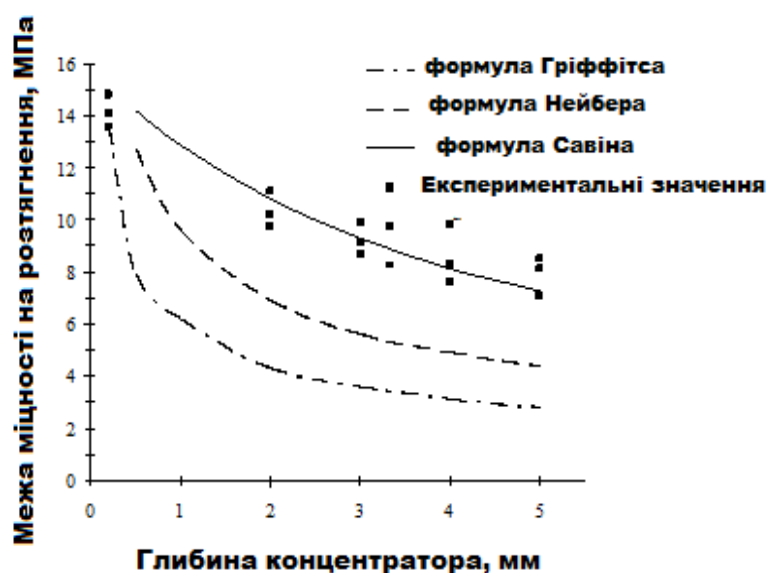


Рисунок 2.16 Залежність міцності граніту на розтягнення від розміру концентратора [45]

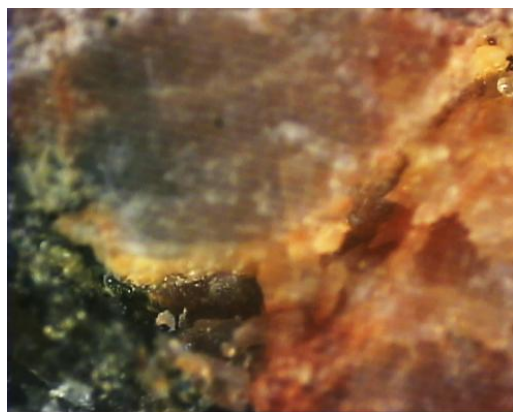
Автор роботи [45] стверджує, що найкращій збіг розрахункових і експериментальних даних має методика обчислення Савіна, на підставі якої міцність на розтягнення зразка з концентратором визначиться:

$$\sigma_{p.конц.} = \sigma_p^* \frac{\beta}{2} \sqrt{\frac{2l_{конц.}}{b}},$$

де σ_p^* – межа міцності на розтягнення монолітного зразка, Па; $l_{\text{конц}}$ – глибина концентратора, м; b – ширина концентратора, м; $\beta = 0,25\mu + 1,8$ – емпіричний коефіцієнт; μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0,20$ для граніту).

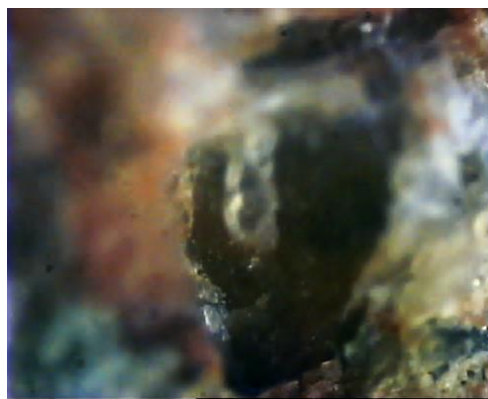
Таким чином, повну картину аналізу зміни технологічної мікротріщинуватості можна отримати оцінюючи не тільки довжину мікротріщин, а і їх глибину. Було встановлено, що максимальне значення глибини тріщини для зразків, видобутих із застосуванням вибухової технології, досягається 900 мкм, а при канатному різанні – максимум 150 мкм (100 мкм дорівнює 0,1 мм), на рис. 2.17 наведено отримані зображення глибини тріщини при різних способах видобування.

Спосіб видобування із
застосуванням канатного розпили



70 мкм

Спосіб видобування із
застосуванням вибуху



900 мкм

Рисунок 2.17 Глибини тріщини при різних способах видобування

Вплив способу відокремлення блокового каменю від масиву характеризується залежністю концентрації мікротріщин від їх розмірів. В роботі отримані залежності розміру тріщин від їх кількості.

В результаті дії динамічного вибухового навантаження в гірській породі спостерігається зміна параметрів мікротріщинуватості за рахунок активного

процесу розширення вже існуючих мікротріщин і утворення нових. На основі проведених експериментальних досліджень побудовані графіки залежності розміру тріщин від їх кількості. Кількість великих тріщин при добуванні природного каменю за допомогою способу із застосуванням вибуху в 2 рази більша, ніж за допомогою способу видобування із застосуванням канатного розпилу. Глибина тріщин при застосуванні канатного розпилу знаходиться в межах від 70 мкм до 150 мкм, тоді як при застосуванні вибухового способу – досягає 900 мкм.

2.3. Визначення характеристик міцності вибитого блока облицювального каменю

Дослід проводився для визначення необхідної динамічної міцності. Динамічна міцність матеріалів і конструкцій – властивість матеріалів і конструкцій чинити в певних межах опір руйнуванню або помітній зміні форми від дії динамічних навантажень, і є характеристикою опору матеріалу деформуванню або руйнуванню при динамічному навантаженні.

Розрізняють динамічну міцність при багатократному циклічному навантаженні та динамічну міцність при однократному навантаженні.

Характеристикою динамічної міцності при повторно-змінних навантаженнях є межа витривалості (втомлюваності) матеріалу, величина якої менша за величину статичної міцності.

Межа витривалості – максимальне за абсолютним значенням напруження циклу, за якого ще не відбувається втомне руйнування матеріалу протягом заданої кількості циклів навантажування.

Динамічний опір матеріалу деформуванню в умовах однократного навантаження при одновісному напруженому стані визначається діаграмою деформування. В загальному випадку зміна опору деформуванню визначається зміною деформації в процесі випробування матеріалу. Отже, діаграма деформування характеризує тільки той закон навантаження, який реалізується

в процесі дослідження. Узагальнення експериментальних даних, отриманих при випробуваннях з різними законами навантаження, зазвичай застосовують у вигляді зв'язку трьох таких змінних: напруження, пластичної деформації та швидкості деформування.

Для випадку ударних навантажень динамічна міцність характеризується величиною максимального неруйнівного напруження, що виникає у тілах при ударній взаємодії (може бути вища за величину статичної міцності), а також ударною в'язкістю. Міцність при короткочасному (тривалістю порядку 10^{-3} с) динамічному навантаженні ударного характеру називають ударною міцністю.

Характеристики міцності при збільшених швидкостях деформування отримують, використовуючи пневмо-гідравлічні пристрої, зокрема Молоток Шмідта МШ-225. Дію ударів та вибухів використовують для деформування з дуже великими швидкостями. Якщо швидкість відносного деформування є меншою за 10^4 с^{-1} , криву деформації визначають в квазістатичних випробуваннях, які забезпечують однорідний напружений стан по всьому об'єму робочої частини зразка, при збереженні цієї швидкості. Вплив швидкості деформування є незначним для крихких матеріалів високої міцності та збільшується з підвищенням їх пластичності.

Молоток Шмідта (склерометр) NOVOTEST МШ – прилад, який використовує найпопулярніший у світі неруйнівний метод вимірювання міцності матеріалів (в першу чергу, будівельних матеріалів, таких як бетон) – метод Шмідта (рис. 2.18).

Цей метод полягає у вимірюванні висоти відскоку блока після ударного впливу на поверхню досліджуваного матеріалу з нормованою (відомою) енергією удару. За допомогою градуювальних таблиць, які поставляються з приладом, значення висоти відскоку переводиться в значення міцності бетону (ГОСТ 22690). Такий прилад не руйнує досліджувані матеріали і дозволяє оперативно проводити вимірювання в місці складування цих матеріалів або досліджувати вже створені будівельні конструкції (стіни, підлоги, стелі тощо) в приміщеннях і на відкритому повітрі.



Рисунок 2.18 Загальний вигляд молотка Шмідта МШ-225

Склерометр має високу точність показань, надійну конструкцію і дуже простий у використанні. Метод вимірювання приладом відповідає ГОСТ 53231-2008, ГОСТ 22690, ISO / DIS 8045, EN 12 504-2, ENV 206, DIN 1048, ASTM D 5 873 (гірські породи), ASTM C 805.

NOVOTEST МШ має 3 модифікації (моделі), що розрізняються значеннями енергії удару і дозволяють підібрати прилад залежно від характеристик матеріалу, який треба досліджувати.

МШ-225 – потужний і найбільш поширений молоток Шмідта. Застосовується для вимірювання міцності бетону товщиною 70-100 мм і більше. Використовується для вимірювання міцності масивних гірських порід. Енергія удару – 2207 Дж (2,207 Нм).

Вимірювання динамічної міцності блоків граніту Танського родовища проводились на території ПАТ «Київський завод «Граніт». Точки, в яких визначалась динамічна міцність, розташовані порядно (рис. 2.19) через 30 см при умові, що довжина блоків в середньому складала 180 см. Вимірювання в кожній точці проводилось по 9 разів.

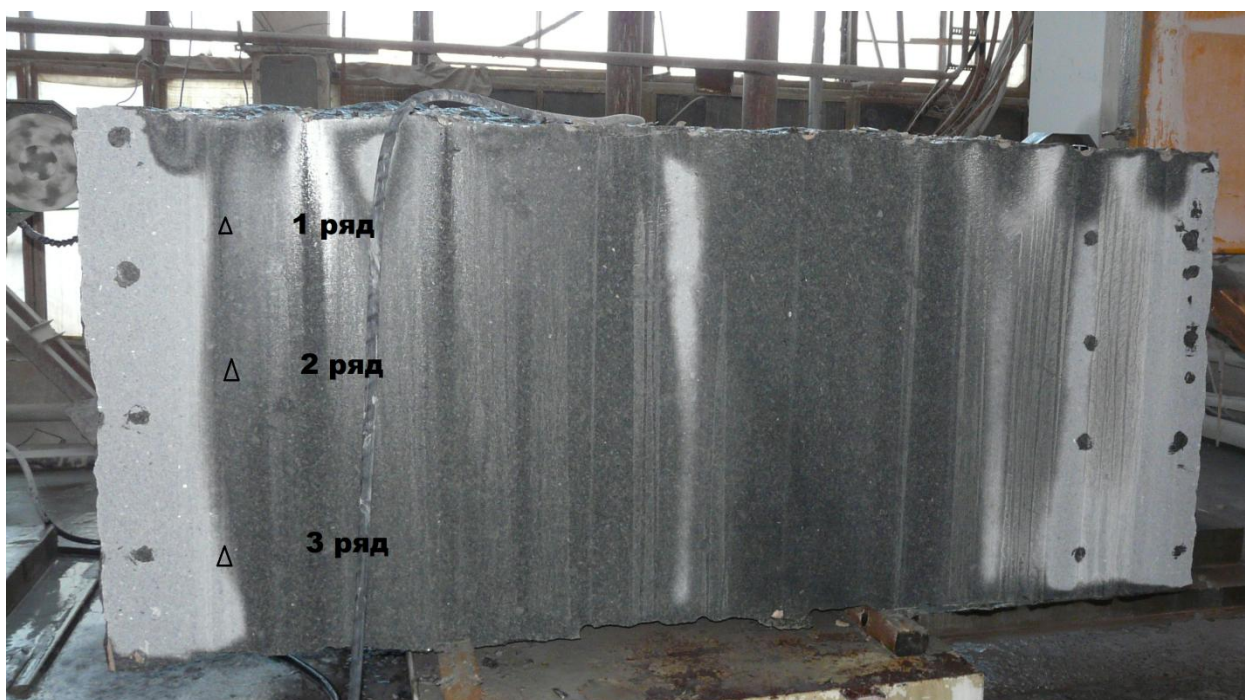


Рисунок 2.19 Гранітний блок Танського родовища, який досліджувався з використанням молотка Шмідта МШ-225

За результатами вимірювань отримані графіки залежності динамічної міцності в різних точках блоків (рис. 2.20).

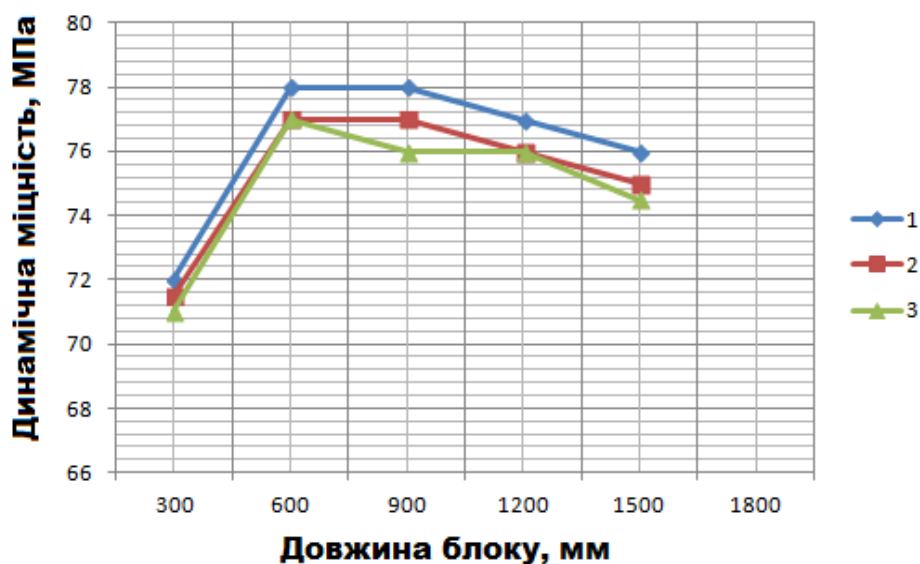


Рис. 2.20. Динамічна міцність блока: 1 – вимірювання по верхній грані блока; 2 – вимірювання по середині блока; 3 – вимірювання по нижній грані блока

Аналізуючи отримані залежності можна бачити, що динамічна міцність на всьому блоці неоднакова. Спостерігається зниження динамічної міцності по

краях блока, причому інтенсивність цього зниження по різних кутах блока нерівномірна. Таке зональне зниження міцнісних характеристик можна пояснити нерівномірним розподілом мікротріщинуватості всередині блока. Підвищення міцнісних характеристик в середині блока відмічалось і раніше в дослідницьких роботах [49]. Але різна інтенсивність зниження міцності по краях блоків вимагає додаткових досліджень для пояснення.

Використання сучасного склерометра для неруйнівного методу вимірювання динамічної міцності дозволило встановити зональну зміну міцнісних характеристик видобутих блоків, яка може бути пояснена нерівномірним процесом утворення технологічної мікротріщинуватості в процесі видобування блоків (рис. 2.21).

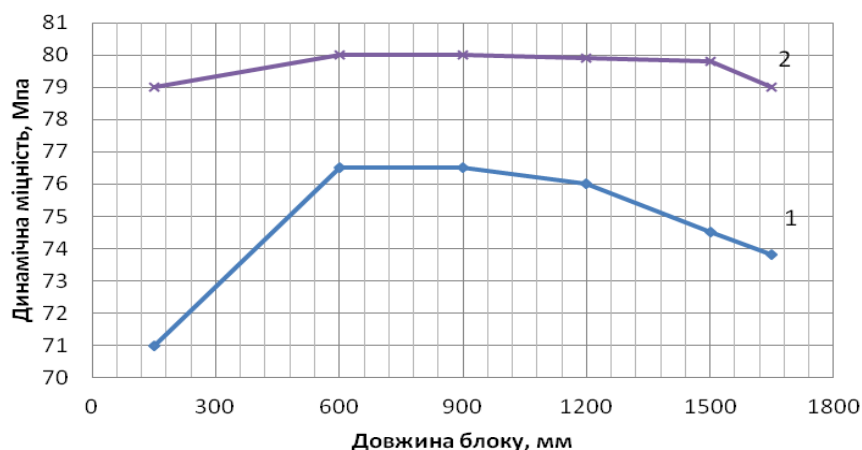


Рисунок 2.21 Зміна динамічної міцності по довжині товарного блоку: 1 – при вибуховому способі видобування; 2 – при способі видобування блоків із застосуванням алмазно-канатних пил

В блоках, яких застосовувався вибух при підготовці до виймання, загальний об'єм крайових зон пониженої міцності складає $2/3$ об'єму товарного блока, тоді як при застосуванні канатного розпилу суттєвих змін міцності по об'єму блока не відбувається.

Висновки

Для аналізу зміни фізико-механічних властивостей блоків декоративного каменю при підготовці його до виймання різними способами були використані дві методики дефектоскопії: візуальна і ультразвукова. Візуальна дефектоскопія за допомогою стерео-мікроскопа виявила значні поверхневі дефекти тих зразків, які були вирізані з блоків, відділених із застосуванням вибухових технологій, порівняно зі зразками з блоків, відділених за допомогою канатного розпилу. Спостерігається велика кількість розломів значних розмірів.

Використання ультразвукової дефектоскопії дозволило оцінити не тільки поверхневі дефекти блоків, а і внутрішні. В результаті проведених досліджень і визначення динаміки зміни модуля пружності встановлено, що спосіб підготовки блоків до відділення впливає на динамічний модуль пружності. При застосуванні менш руйнівного способу з використанням канатного розпилу значення динамічного модуля пружності на 20% вищі від значення того ж динамічного модуля пружності в блоках, відділених за допомогою вибуху. Отже, можна стверджувати, що якісні характеристики блоків декоративного каменю, його міцнісні властивості на 20% вищі в блоках, відділених канатним розпилом. Представлена методика досліджень оцінки динамічного модуля пружності як показника зміни питомої технологічної мікротріщинуватості може використовуватись, як один з різновидів експрес-аналізу якості блоків.

Використання мікроскопічного методу дослідження поверхонь зразків з різних родовищ, видобутих за допомогою вибухових технологій і канатного різання встановило збільшення питомої площі технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху в 3 рази і паралельно з цим збільшення на порядок глибини самих тріщин. Також зазначено, що мікроскопічний метод заміру технологічної мікротріщинуватості є достатньо трудомістким і займає значну кількість часу, тому доцільно поєднання мікроскопічних методик дослідження

із сучасними розповсюдженими софтами, які б дозволили прискорити і спростити процес оцінки і отримання результатів.

Використання сучасного склерометра для неруйнівного методу вимірювання динамічних міцності дозволило встановити зональну зміну міцнісних характеристик видобутих блоків, яка може бути пояснена нерівномірним процесом утворення технологічної мікротріщинуватості в процесі видобування блоків, а точніше нерівномірним навантаженням сторін блоків в процесі відокремлення його від масиву.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МІКРОТРИЩИНУВАТОСТІ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМИ MATLAB

3.1. Матричне представлення об'єктів в системі MATLAB

Вирішення задач, що виникають в області цифрової обробки зображень, потребує великої експериментальної роботи, в якій доводиться використовувати спеціалізовані алгоритми і багаторазове тестування із залученням об'ємної бази різних зображень. Розробка таких алгоритмів зазвичай спирається на ґрунтовний теоретичний фундамент і потребує багато додаткового матеріалу. Вибір гнучкого, всеохоплюючого і добре документованого середовища для обробки цифрових зображень є ключовим фактором, який впливає на якість кінцевого результату.

Для вирішення поставленої задачі була використана система MATLAB. Зазначимо, що робота в середовищі системи MATLAB з пакетом IPT дає значні переваги, причому не тільки через широту і різноманітність запропонованих інструментів, але і в силу підтримки системи MATLAB переважною більшістю сучасних комп'ютерних платформ.

Зображення, що обробляються, можуть бути отримані різними шляхами, такими як ультразвукове зображення, зображення, які були отримані в електронному мікроскопі або штучно згенеровані комп'ютером. Таким чином, цифрова обробка зображення має досить широку сферу застосування.

MATLAB є мовою високого рівня для виконання технічних і наукових обчислень. В ньому інтегровані обчислення, візуалізація і програмування в зручному і призначеному для користувача середовищі, в якому завдання та їх вирішення виражаються за допомогою звичних математичних позначень. Типовий набір дій включає:

- математичні обчислення;
- розробку алгоритмів;
- моделювання і створення прототипних систем;
- аналіз даних, їх дослідження і візуалізацію;

- побудову різних графіків;
- розробку додатків і призначений для користувача інтерфейс.

MATLAB є інтерактивною системою, в якій базовим елементом виступає масив елементів, що не вимагає завдання фіксованої розмірності. Це дозволяє легко формулювати умови і вирішення багатьох обчислювань, яким потрібне матричне представлення об'єктів. При цьому необхідна робота займає лише невеликий час, який знадобився би для написання аналогічних програм на скалярній та не інтерактивній мові типу Fortran.

В навчальних закладах MATLAB може використовуватися як стандартний обчислювальний інструмент для початкових і поглиблених курсів з математики, техніки та інших наукових дисциплін. У промисловості MATLAB широко використовується багатьма дослідниками і розробниками. Система MATLAB має розширення у вигляді наборів спеціалізованих програм, які англійською називаються toolbox (набір інструментів). Пакет Image Processing Toolbox (IPT) складається з функцій MATLAB (вони називаються М-функції або М-файли), які розширюють можливості стандартного середовища MATLAB для вирішення завдань, пов'язаних з цифровою обробкою зображень [98].

Зображення представляє собою двовірну функцію $f(x, y) = [\quad]$, де x і y – це просторові координати, а амплітуда f в будь-якій точці з парою координат (x, y) називається інтенсивністю або рівнем сірого кольору (насиченістю) зображення в цій точці. Якщо змінні x , y і f приймають значення їх кінцевої (дискретної) множини, то говорять про цифрове зображення. Під цифровою обробкою зображення мається на увазі обробка цифрового зображення за допомогою обчислювальної техніки (комп'ютера). Зауважимо, що цифрове зображення складається з кінцевої кількості елементів, кожний з яких розташований в конкретному місці і має певне значення. Ці елементи прийнято називати елементами зображення. Найчастіше елементи цифрового зображення називають пікселями.

Зображення може мати безперервні x - і y - координати, а також безперервну амплітуду f . Перетворення такого зображення в цифрову форму вимагає представлення координат і значень амплітуди деякими дискретними відліками. Представлення координат кінцевою множиною відліків називається дискретизацією, а представлення амплітуди як кінцевих значень набору елементів називається квантуванням. Таким чином, якщо координати x і y , а також значення амплітуди f вибирають з фіксованого кінцевого набору елементів (дискретних величин), то зображення можна назвати цифровим зображенням. Результатом дискретизації та квантування є матриця чисел, тобто зображення $f(x, y)$ після дискретизації представлено у вигляді матриці, в якій є M рядків та N стовбців. Можна сказати, що зображення має розміри M х N . Значення координат (x, y) є дискретною величиною. Для зручності значення цих дискретних координат приймають, як цілі числа. За початок координат приймаємо верхній лівий кут зображення, координати якого будуть $(x, y) = (0, 0)$. На рис. 3.1 надано координатне представлення обробки зображення.

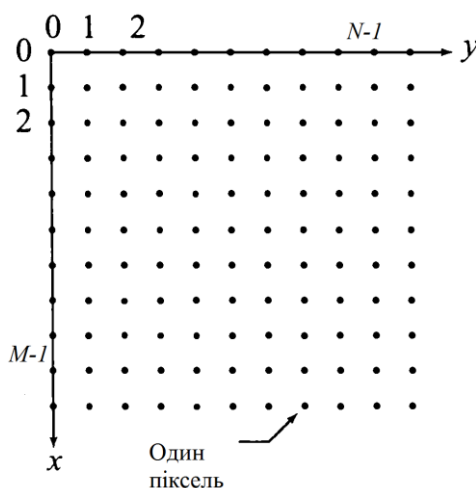


Рисунок 3.1 - Координатне представлення обробки зображення

Наступна точка в першому рядку зображення буде мати координату $(x, y) = (0, 1)$. Координата x змінюється від 0 до $M-1$ з шагом 1.

Система координат на рис. 3.1 може бути представлена наступною функцією:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}.$$

Цифрове зображення може бути представлено у вигляді матриці MATLAB:

$$f = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(2,1) & \cdots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,N) \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ f(M,1) & f(M,2) & \cdots & f(M,N) \end{bmatrix}.$$

Зазвичай використовуються літери M і N для позначення відповідно числа рядків та числа стовпців в матриці f .

Для завантаження зображення в робочий простір MATLAB використовується функція `imread('filename')`, де *filename* – це рядок символів, який утворює повне ім'я файлу зображення, що завантажується.

Зображення можна вивести на дисплей комп'ютера за допомогою функції `imshow(f,G)`, де f – це матриця зображення, а G – це число рівня яскравості (інтенсивності) кольору, який використовується для цього зображення. Команда `imshow(f, [low high])` означає, що всі пікселі, що набувають значення не більше числа *low*, треба зображувати чорним кольором, а всі пікселі, що набувають значення не менш, ніж число *high* — треба зображувати білим кольором. Всі проміжні значення зображуються з проміжною яскравістю. Запис з командною строчкою `imshow(f, [])` задає для

змінної *low* мінімальне значення масиву f , а змінною *high* - надається його максимальне значення.

Представлення об'єкту на рис.3.2 відбувається шляхом сегментації зображення [99].

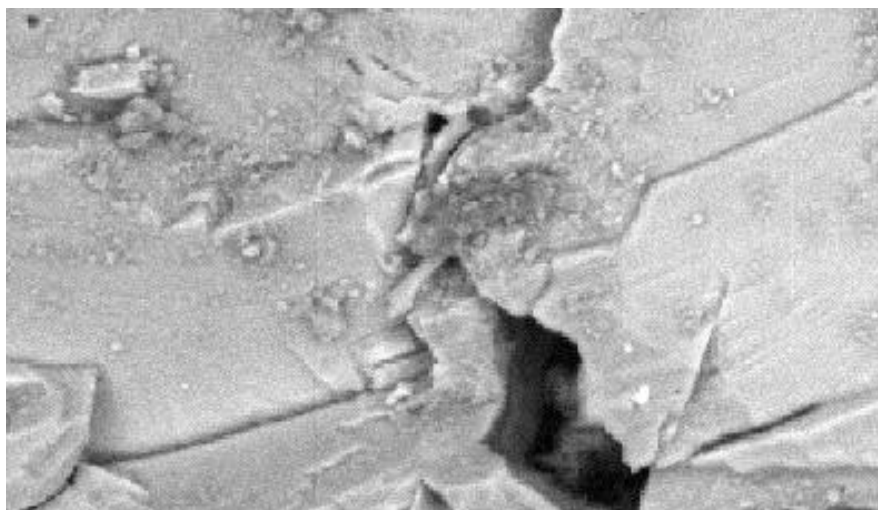


Рисунок 3.2 Зображення зразку граніту, яке було отримано в електронному мікроскопі

Сегментація за деякими ознаками поділяє зображення на складові частини та об'єкти. Алгоритм сегментації монохромних зображень базується на яскравості (інтенсивності) зображення. Саме базуючись на інтенсивності чорного кольору, проводився аналіз зразків. Наявність більш інтенсивного чорного кольору на зображенні свідчить про глибокі розломи в зразку.

3.2 Лабораторні дослідження підповерхневої структури гранітів в залежності від способів видобутку

Для оцінки підповерхневої структури використовувався растровий мікроскоп РЕМ 106-I та стереомікроскоп KONUS CRYSTAL-PRO. Ці електронні мікроскопи дозволяють дослідникам і науковцям розв'язувати задачі, які потребують детальної оцінки на якісно новому рівні. Основною перевагою даного напрямку є швидке отримання даних про хімічний склад і зміну структури поверхні при невеликих затратах досліджуваної речовини

(проб). За допомогою цього обладнання в лабораторних умовах можна провести поглиблену діагностику каменю на стаціонарному обладнанні, встановити мінеральний склад порід і оцінити характер пористості та тріщинуватості, а також комплекс фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Сьогодні можливості растрової електронної мікроскопії використовуються практично у всіх галузях науки і промисловості, від біології до наук про матеріали. Гнучке управління мікроскопами дозволяє, значно знизити електронно-променеві пошкодження зразків, підвищує достовірність і відтворюваність результатів аналізу мікроструктури, полегшує працю дослідників.

В дослідженнях був використаний растровий електронний мікроскоп (РЕМ), зображений на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 Растровий електронний мікроскоп РЕМ - 106 I

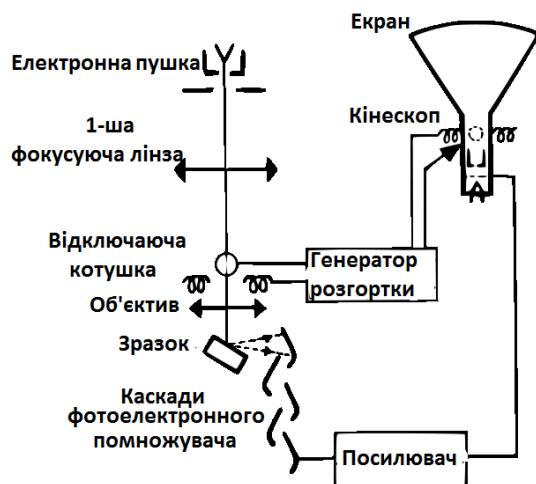


Рисунок 3.4 Схема роботи растрового мікроскопа РЕМ-1061

Це прилад класу електронних мікроскопів, який призначений для отримання зображення поверхні об'єкта з високим (до 0,4 нанометра) просторовим розділенням, а також інформації про склад, будову та деякі інші властивості приповерхневих шарів, заснований на принципі взаємодії електронного пучка з досліджуванним об'єктом в умовах "глибокого вакууму".

Перевагою РЕМ є велика глибина поля зору і простота пробопідготовки, що робить його незамінним інструментом в ряді розділів геологічних наук. Так, наприклад, в мінералогії РЕМ ефективний при вивченні морфології кристалів на макрорівні $\sim (10^{-8} - 10^2)$. Використання РЕМ значно розширює дослідницькі можливості.

На рис. 3.4 зображено принципову схему РЕМ: тонкий електронний зонд (електронний пучок) спрямовується на аналізований зразок. У результаті взаємодії між електронним зондом і зразком генеруються низько енергетичні вторинні електрони, які збираються детектором вторинних електронів. Кожен акт зіткнення супроводжується появою електричного сигналу на виході детектора. Розроблені методики, які дозволяють досліджувати не тільки властивості поверхні зразка, а й візуалізувати інформацію про властивості підповерхневих структур. Все це несе інформацію про природу об'єкта.

Інтенсивність електричного сигналу залежить як від природи зразка (меншою мірою), так і від топографії (більшою мірою) зразка в області взаємодії [100].

Растровий електронний мікроскоп РЕМ-106І (рис.3.4) дозволив визначити хімічний склад в діапазоні атомних номерів від 11(Na) до 92 (U) з локальністю до 1 мкм; зробити фотографію відображення в режимі Contro— (фазовий режим) і режимі Торо (контраст рельєфу) та вторинних електронах з роздільністю до 10 нм при збільшенні від ($\times 15$) до ($\times 100000$).

Для досліджень використані зразки граніту розміром 3х3 см, видобуті буро-вибуховим способом та за допомогою канатної пили з родовищ Межиріцьке та Лезниківське. Дослідження за допомогою растрового електронного мікроскопу проводились на зразках, взятих з середини блоків. Результати проведеного аналізу зразків граніту наведені на рис. 3.5.

Проводячи візуальну діагностику можна констатувати, що застосування буро-вибухового способу відділення гранітів призводить до утворення в породі розломів значних розмірів, пошкодження каменю в кількісному і якісному співвідношенні значно суттєвіші, що, в свою чергу, відповідно знижує якість блочного каменю. Але оцінити цей процес в кількісному вигляді, провести експрес-діагностику як готових виробів з каменю, так і зразків блочної продукції, і визначити відсоткове значення глибоких тріщин з встановленням питомої концентрації тріщинуватості по цим зображенням неможливо.

В розділі 1 зазначається, що для обробки зображень, отриманих після застосування електронних мікроскопів можна обробляти з використанням авторського програмного забезпечення аналізу фрактальних характеристик тріщинної структури гірських порід. Це сучасний і перспективний метод оцінювання, але він потребує права на авторські програми і не передбачає застосування широко розповсюджених софтів.

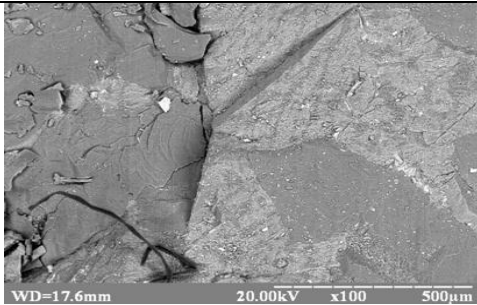
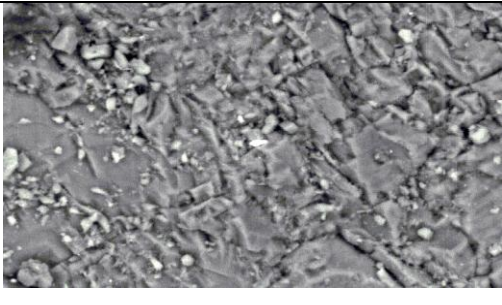
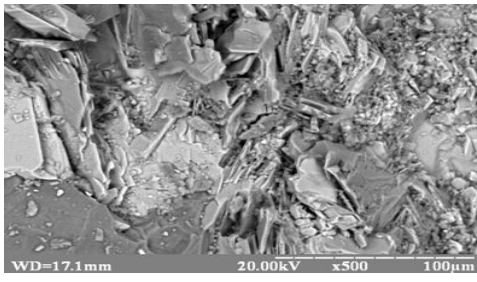
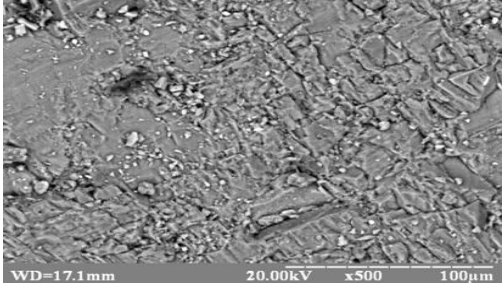
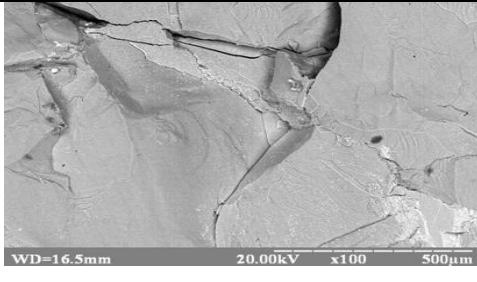
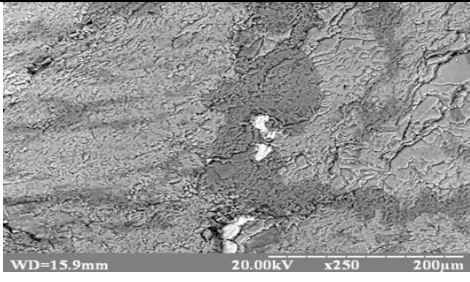
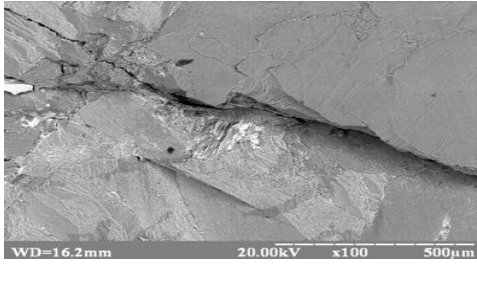
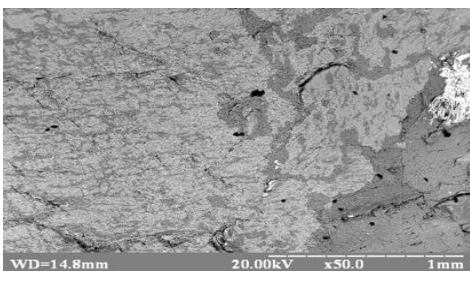
Назва родовища	Спосіб видобутку	
	Буро-вибуховий	Канатна пила
<i>Межиріцьке</i>		
		
<i>Лезниківське</i>		
		

Рисунок 3.5 Зображення зразків гранітів в результаті проведеного аналізу з використанням растрового електронного мікроскопу REM-106I

3.3. Цифрова обробка зображень за допомогою програми MATLAB

Метод «межової» обробки досить часто використовується в прикладних задачах сегментації зображення завдяки простоті реалізації. Як зазначалося вище, будь-яке зображення можна представити у вигляді функції $f(x, y)$, яка має темні об'єкти на світлому кольорі, причому яскравість (інтенсивність) всіх пікселів сконцентрована поблизу двох основних значень. Тоді засіб виділення об'єкту з оточуючого фону полягає у виборі межі T , яка поділяє ці дві яскравості. Будь-яка точка (x, y) , для якої $f(x, y) \geq T$ буде називатися точкою об'єкту (рис. 3.5). Якщо вона не буде задовольняти цій умові, то вона буде відноситись до точки фону. Іншими словами, зображення $g(x, y)$, яке отримують в результаті межової обробки, можна представити у вигляді [98]:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{при } f(x, y) < T \end{cases}$$

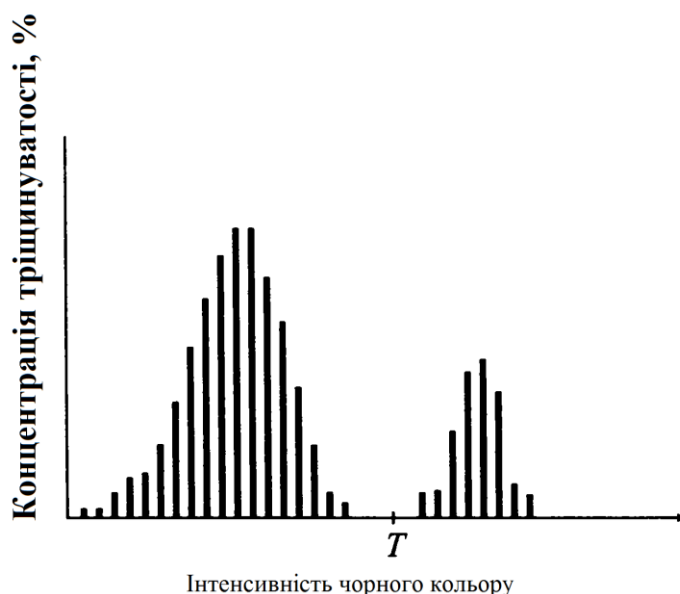


Рисунок 3.5 - Гістограма, яка утворюється при виборі межового значення яскравості (інтенсивності) T чорного кольору

Таким чином, пікселі зі значенням 1 відповідають об'єктам, а пікселі, які мають значення 0, відповідають фону вихідного зображення. Форму ділянок границь об'єкту можна кількісно описати за допомогою статистичних

характеристик. Відображення сегменту границі полягає в представленні самої функції $g(x, y)$ як гістограми.

Саме так званий текстурний аналіз базується на статистичних властивостях гістограм яскравості. Формула для визначення n -го моменту відносно середнього статистичного має вигляд:

$$\mu_n = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i), \quad (3.1)$$

де z_i - випадкове значення, яке позначає яскравість, $p(z_i)$ - гістограма розподілу рівня яскравості в певній області, L визначає число різних значень яскравості, а m описується виразом $m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$ і є середньою яскравістю області, які розраховуються в MATLAB за допомогою функції *statmoments*.

Для аналізу фотографій, отриманих на електронному мікроскопі і представлених в таблиці 3.1, була проведена сегментація зображення за деякою ознакою. В даному випадку наявність чорного кольору *свідчить про глибокі розломи в зразку*. Саме базуючись на інтенсивності чорного кольору, проводився аналіз зразків.

Глобальний опис виходить при інтегруванні найбільших чорних кластерів на зображеннях, які вимірюються в пікселях. В результаті можна отримати гістограми, які дозволяють в кількісному значенні оцінити розломи на зразках. На рис. 3.6–3.9 представлені гістограми зображень з табл.3.1 після статистичної обробки за допомогою програми MATLAB.

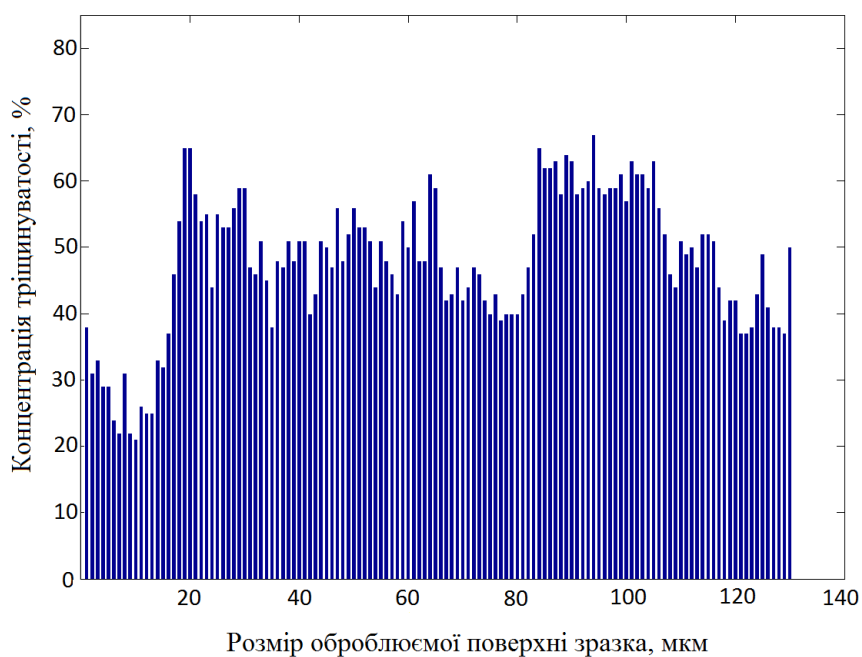


Рисунок 3.6 - Гістограма статистичної обробки зразка граніту Межиріцького родовища, відокремленого за допомогою буро-вибухового способу

В результаті обробки можна чітко визначити, що відсоток чорного кольору на зразку Межиріцького родовища, який видобувався за допомогою буро-вибухового способу, складає 57 %.

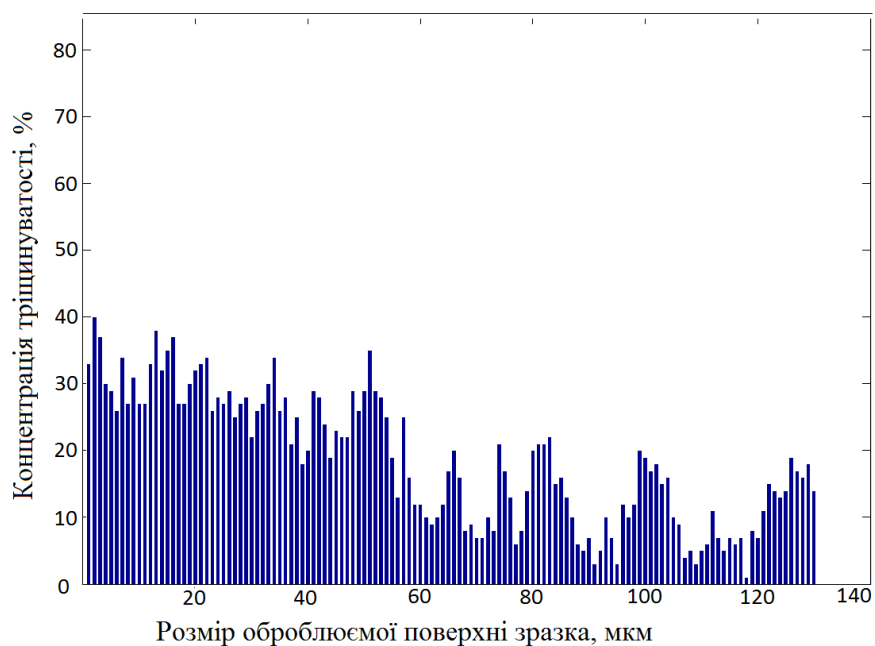


Рисунок 3.7 - Гістограма статистичної обробки зразка граніту Межиріцького родовища, відокремленого за допомогою канатного розпилю

Відсоток чорного кольору на зразку Межиріцького родовища, який видобувався за допомогою канатного розпилю, складає 22 %.

Отже, процес визначення концентрації тріщинуватості для експрес-діагностики може дати нам конкретні цифрові значення питомої тріщинуватості зразків.

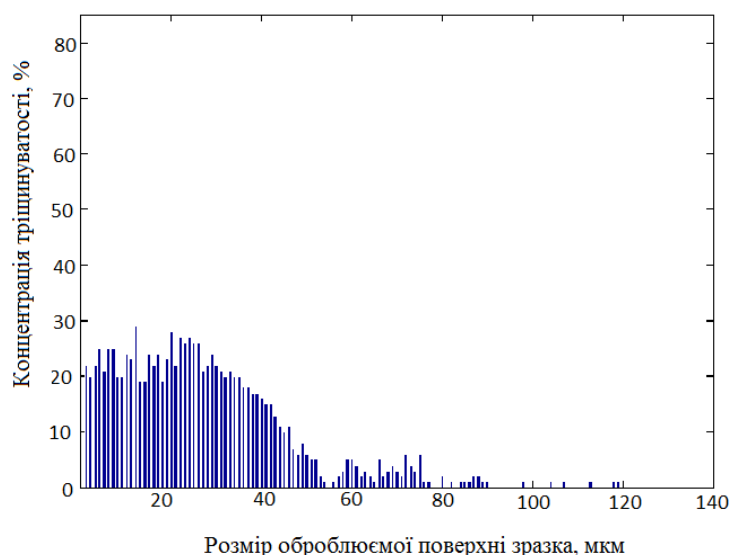


Рисунок 3.8 - Гістограма зображення зразка граніту Лезниківського родовища, який видобувався за допомогою буро-вибухового способу

В результаті обробки можна визначити, що відсоток чорного кольору на зразку Лезниківського родовища, який видобувався за допомогою буро-вибухового способу, складає 21,47 %.

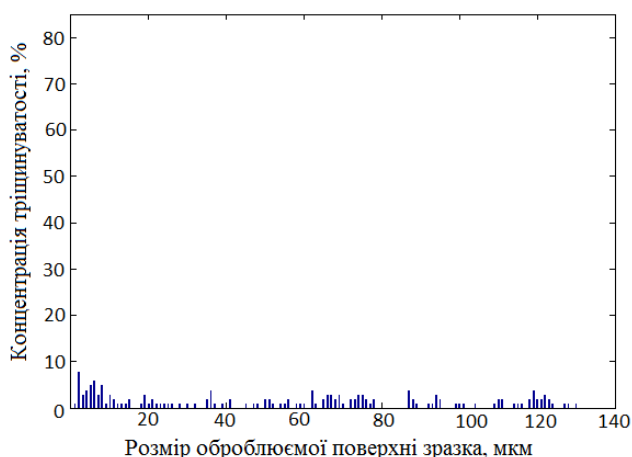


Рисунок 3.9 - Гістограма зображення зразка граніту Лезниківського родовища, який видобувався за допомогою канатного розпилю

Найбільший чорний кластер в пікселях надає можливість визначити відсоток чорного кольору на зразку Лезниківського родовища, який видобувався за допомогою канатного розпилу і складає 4,61 %.

Висновки

В результаті проведених досліджень в роботі запропонована нова методика експрес-діагностики для оцінки концентрації технологічної тріщинуватості в залежності від способу підготовки блоків каменю до виймання. Порівнюючи результати класичного мікроскопічного методу досліджень, який був проведений в розділі 2 з представленою методикою, можна зазначити, що вони співпадають. Тут теж встановлено збільшення питомої технологічної тріщинуватості при застосуванні вибуху в 3 рази і навіть більше, але процес проведення цієї діагностики не такий трудомісткий.

Було зазначено, що з активним розвитком електронної мікроскопії отримання цифрових зображень досліджувальних об'єктів потребує розробки нова методика обробки цифрових зображень для отримання питомої тріщинуватості в результаті застосування різних технологій видобування і обробки каменю в цифровому вигляді. В залежності від поставленої мети досліджень інформативність методів оцінки концентрації тріщинуватості різна. Тому застосування як авторських програм, так і методик з використанням досить поширених софтів, мають право на існування, тим більше, що зацікавленість в розробці нових простих і швидких методик обробки цифрових зображень зразків блоків декоративного каменю і виробів з них з метою оцінки концентрації технологічної мікротріщинуватості зазначено в довідці про використання результатів дослідження даної дисертації в роботі ДГЦУ при проведенні експертиз дефектності декоративного каменю.

РОЗДІЛ 4. ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРИЩИНУВАТОСТІ НА КАР'ЄРАХ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

Основним технологічним процесом, що змінює агрегатний стан каменю, є підготовка його до виймання. Цю підготовку проводять багатьма способами направленого руйнування гірських порід та їх комбінаціями, які забезпечують концентрацію критичних напружень в потрібних площинах розколу або розрізу каменю. Не дивлячись на створення нових технологій руйнування, заснованих на нетрадиційних підходах (терморуїнування, вплив потоками часток високої енергії та інше) основним шляхом вдосконалення технологій відокремлення блокового каменю від масиву є вивчення геомеханічних характеристик масиву, а саме напружено-деформованого стану, фізико-механічних властивостей порід, крихкості порід, які залежать від структури, мінералогічного складу та орієнтації кристалів, а також від розмірів і форми тіла, що руйнується, виду напружень та швидкості деформувань. Дослідження впливу попереднього навантаження суцільного середовища на характер його наступного руйнування набуває в гірничій справі все більшої актуальності, а з переходом в багатьох кар'єрах на значні глибини робить неможливим неврахування початкового напружено-деформованого стану гірського масиву.

Отримання надійної інформації про напружено-деформований стан масиву гірських порід є одним з пріоритетних завдань. Вказана інформація широко використовується як на стадіях проектування, так і в процесі практичної реалізації усього комплексу технологічних процесів розробки родовищ. Відомості про якісні та кількісні характеристики полів напружень в земній корі мають значну роль при прогнозі динамічних явищ, що виникають в ній, а також при виборі оптимальних технічних і технологічних рішень по управлінню станом масиву і забезпеченню стійкості конструктивних елементів систем розробки. Це пов'язано з тим, що саме взаємодія основних

структурних полів в масиві – поля різномасштабних пошкоджень і поля напружень багато в чому визначають міцність та довговічність будь-яких природних і природно-технічних об'єктів, а також динаміку процесів руйнування.

4.1. Аналіз технологічних процесів, що змінюють структуру блокового каменю

Масив гірських порід, який оточує родовище корисної копалини має одну суттєву механічну особливість – ще до початку проведення гірничих робіт масив вже знаходиться в природному напруженому стані.

Природний напружений стан породного масиву взагалі визначається геомеханічними факторами, які є функціями просторових та часових координат. Тому геомеханічні фактори має сенс поділити на дві групи: фактори, які діють в масиві постійно і скрізь, і фактори, які впливають на напружено-деформований стан масиву локально і тимчасово.

До першої групи факторів слід віднести гравітаційне та температурне поле Землі, механічні властивості і структурно-механічні особливості будови масиву, рельєф земної поверхні. Найбільш впливовими факторами в цій групі є гравітаційне поле Землі та структурно-механічні особливості будови масиву, саме від них в найбільшій мірі залежить розмір та напрямлення вектора головних напружень масиву.

До другої групи факторів відносяться тектонічні, гідродинамічні, газодинамічні та інші фізико-механічні процеси в породному масиві. Найбільш впливовими в цій групі можна виділити тектонічні процеси. В роботі [89] відмічається, що іноді вплив тектонічних процесів може перевищувати вплив гравітаційного поля.

Взагалі, скельні породи є дуже складним і суперечливим об'єктом досліджень. Вони формуються в різних геологічних і кліматичних умовах під дією найрізноманітніших чинників, і є дискретні багатокомпонентні композитні

тіла природного утворення. Вони характеризуються неоднорідністю і часто анізотропією, що викликано шаруватістю і наявністю тріщин практично в кожній скельній породі, а це, в свою чергу, спрямовано впливає на міцність масивів і їх здатність до деформування.

При розгляді вихідного напруженого стану природного масиву в пружній установці, вважають, що основна сила, яка формує розподіл напружень, визначається вагою гірських порід, яка направлена перпендикулярно до земної поверхні. Тоді згідно з гіпотезою українського вченого О.М.Динника напружений стан природного масиву при умові залежності між напруженнями і деформаціями з урахуванням ізотропних властивостей пружних гірських порід можна представити у вигляді:

$$\sigma_z = \gamma H, \quad (4.1)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H = \lambda \gamma H, \quad (4.2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, γ – питома вага гірської породи, λ – коефіцієнт бокового розпору гірської породи. Тут коефіцієнт бокового розпору гірської породи визначається за рівнянням:

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}. \quad (4.3)$$

Коли гірський масив зруйнований і міцність наближається до нуля, коефіцієнт бокового розпору гірської породи можна визначити, як:

$$\lambda = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho}, \quad (4.4)$$

де ρ – кут внутрішнього тертя зруйнованої гірської маси.

Друга гіпотеза, гіпотеза гідростатичного розподілу напружень, при визначенні коефіцієнта бокового розпору враховує тектонічну складову горизонтальних напружень. Тоді рівняння для визначення коефіцієнта бокового розпору гірської породи буде мати вигляд:

$$\lambda = \frac{1-2\mu}{1-\mu}. \quad (4.5)$$

В результаті значення коефіцієнта бокового розпору гірської породи, розрахованого за формулами (4.4) і (4.5), будуть значно відрізнятися (табл.4.1).

Таблиця 4.1. Значення коефіцієнта бокового розпору

Коефіцієнт бокового розпору	Коефіцієнт Пуассона μ					
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
за формулою 4.4	0	0,11	0,25	0,43	0,67	1
за формулою 4.5	1	0,88	0,75	0,57	0,33	0

Тоді напружений стан породного масиву в природному заляганні буде визначатися наступними виразами:

$$\sigma_z = \gamma H, \quad (4.6)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1-2\mu}{1-\mu} \gamma H.$$

Згідно з роботами [90] це призводить до збільшення горизонтальних напружень на 10-40%.

Слід також зауважити, що при розробці кар'єра відбувається перерозподіл природного напруженого стану масиву і на оголених гранях горизонтальне напруження змінює свій знак і стає не стискаючим, а розтягуючим.

4.2. Перерозподіл напружень на уступі кар'єра декоративного каменю в процесі видобування

Процес руйнування гірських порід є багатостадійним явищем і починається безпосередньо на ранній стадії формування гірського масиву. Об'єднуючим для всіх гірських порід є той факт, що їх не можна ідеалізувати, як це робиться в механіці або фізиці твердого тіла, оскільки з самого початку в

них присутній набір дефектів, що визначають їх конкретні властивості і подальшу поведінку. Одним з фундаментальних понять для будь-якого матеріалу є його довговічність, тобто час, протягом якого матеріал опирається тим фізичним навантаженням, які на нього впливають.

Руйнування виражається у вигляді появи на поверхні абразивних воронкоподібних, великої кількості мікротріщин або утворенні магістральної тріщини на поверхні облицювального каменю. В таких умовах досить важко знайти єдиний показник, здатний схарактеризувати довговічність природного каменю і врахувати будь-які види впливів на нього.

У роботах [65-67] довговічність пропонується оцінювати з урахуванням міцнісних властивостей гірських порід різних родовищ. Ґрунтуючись на припущенні, що довговічністю є час від початку прикладання навантаження і до моменту руйнування матеріалу на частини, і використовуючи модель постадійного руйнування твердого тіла, відповідно до якої спочатку відбувається утворення мікротріщин і в міру їх накопичення до критичної концентрації вони збільшуються, пропонується формула для оцінки довговічності.

Емпірична залежність довговічності від температури і величини прикладеного навантаження – рівняння довговічності для ідеальних тіл, запропоноване в роботі [101, 102], має вигляд:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right), \quad (4.7)$$

де $\tau_0 \approx 10^{-12} \div 10^{-14}$ – коефіцієнт, що чисельно дорівнює періоду теплових коливань атомів у кристалічній решітці, с; U_0 – початкова енергія активації руйнування, Дж / моль; γ – структурний фактор, величина якого визначається щільністю дислокацій (при $T = const$ значення γ пов'язано з активаційним об'ємом V співвідношенням $V = \gamma m$, де $m = 3,06$ – фактор Тейлора), м³ / моль; σ – нормальне напруження розтягнення; R –

універсальна газова стала, яка дорівнює $8,314 \text{ Дж} / \text{моль} \cdot \text{К}$; T – абсолютна температура, К .

З експериментальних досліджень, проведених в роботах [67, 102], встановлено, що реальна міцність гірської породи залежить від розмірів, кількості дефектів і тріщин. Це обумовлено існуванням підвищеного рівня напружень в околицях вершин тріщин в порівнянні з напругою для ізотропного середовища і взаємодією суміжних тріщин.

Для оцінки впливу наявності природних концентраторів напружень (мікротріщин) в зразку гірської породи були проведені експериментальні дослідження зі штучно створеними надрізами різного розміру на руйнування методом розтягування при вигині. Проведено оцінку міцності зразків граніту зі штучно створеними надрізами і виконано порівняння експериментальних даних з класичними теоретичними підходами Гриффітса-Ірвіна і Нейбера до розвитку концентраторів напружень. Найкращий збіг розрахункових і експериментальних даних має методика Нейбера, на підставі якої міцність на розтягнення зразка з концентратором визначається співвідношенням:

$$\sigma = \frac{\sigma^*}{\left(1 + \frac{2l_{\text{конц}}}{b}\right)}, \quad (4.8)$$

де σ^* – межа міцності на розтягування монолітного зразка, Па; $l_{\text{конц}}$ – глибина концентратора, м; b – ширина концентратора, м.

Необхідно відзначити, що наведена тріщинуватість при промисловому переділі гірських порід спричинить додаткове зниження довговічності матеріалу в процесі експлуатації. Тому особливої актуальності набуває процес моделювання формування зон технологічної тріщинуватості і розробка шляхів зменшення цих зон.

При проведенні експериментальних досліджень в роботах [93, 94] було відзначено, що зміна напружено-деформованого стану в масиві при відділенні блоків призводить до перерозподілу природного напруженого стану та

формування напружених зон, де йде процес формування технологічної тріщинуватості, яка в кінцевому підсумку знижує якість блоків, що виймаються (рис.4.1).

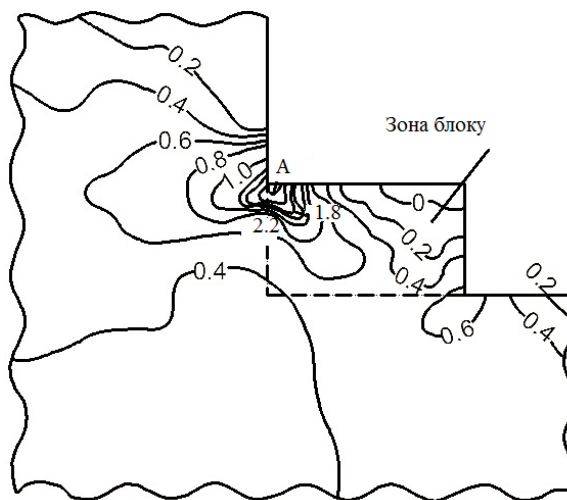


Рисунок 4.1 Горизонтальні напруження σ_x , МПа на гранітному кар'єрі

Аналіз представлених результатів виявляє в околиці точки *A* область концентрації напружень, яка представляє небезпечну зону, де порода піддається стисненню, значення яких можуть перевершити межу міцності. По мірі заглиблення в масив ця концентрація швидко знижується. Особливо слід відзначити небезпеку появи напружень розтягнення, які найбільш небезпечні для гранітоїдів. Для моделювання цього процесу вирішено об'єднати класичний математичний апарат механіки руйнування суцільного середовища з критерієм руйнування Нейбера для кутових зон на уступі кар'єру, який дозволить з високою точністю описати формування напружених кутових зон.

В реальності в зоні впливу гірничих виробок в різних точках масиву порід в результаті геомеханічних процесів з плином часу напружений стан змінюється, орієнтація тензорів головних напружень і деформацій не залишається постійною, з'являються орієнтовані послаблення. Тому для оцінки розвитку процесів руйнування в породах застосування узагальненого критерію неможливе. Необхідно розглядати можливість руйнування порід в різних

точках масиву. Вирішуючи задачу визначення напружено-деформованого стану навколо блоку прямокутної форми, що виймається, необхідно сконцентрувати увагу на кутові зони, де спостерігається концентрація напруг (рис.4.2).

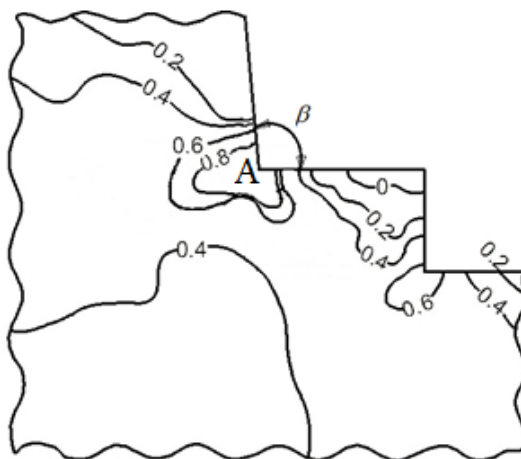


Рисунок 4.2 Горизонтальні напруження σ_x , МПа при збільшенні кута зрізу блоку на уступі

Міцність непорушеної породи описується з використанням кіл Мора. Особливістю теорії міцності Мора є те, що вона описує руйнування в результаті як зсуву, так і відриву, причому можна оцінювати можливість руйнування в будь-якій точці породного масиву. На відміну від теорії міцності Мора, застосування критерію Нейбера дозволить врахувати структуру матеріалу у вершині кутового вирізу і описати механізм руйнування тріщинуватих тіл. При цьому використовуються поняття класичної механіки руйнування (механіка деформованого твердого тіла) і фізики твердого тіла, пов'язані зі структурою матеріалу. Критерій Ірвіна-Гріффітса успішно працює при розрахунку тріщин, але призводить до занижених результатів [103] в разі кутових вирізів. Реальна тріщина вже не є розрізом, а являє собою кутовий виріз, тому виникає задача визначення напружено-деформованого стану в околиці прямокутного вирізу.

Для лінійної тріщини в пружному полі коефіцієнт інтенсивності

напружень характеризує поле напружень поблизу вершини тріщини. Знаючи коефіцієнт інтенсивності напружень, можна сказати, чи є даний стан тіла з пружного матеріалу критичним. Завдання визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для малих тріщин в тілах кінцевих розмірів вирішено в роботах [91, 103]. Для кутового вирізу поле напруг складається з регулярної та сингулярної складових. При цьому коефіцієнт сингулярності не є константою матеріалу, оскільки залежить від кута розкриття, і не може бути визначений експериментально. Таким чином, для опису руйнування навколо кутового вирізу необхідне виділення сингулярної складової поля напружень, що у випадках складного напруженого стану вимагає застосування чисельних методів.

Для вирішення поставленого завдання використовуємо метод кінцевих елементів, який отримав найбільше застосування в практиці інженерних розрахунків. У випадку плоскої деформації розглядається напружено-деформований стан, коли всі переміщення точок тіла відбуваються паралельно одній площині xOy .

Оскільки переміщення є функціями тільки двох змінних:

$$u = u(x, y), \quad v = v(x, y), \quad w = 0, \quad (4.9)$$

з формул Коші випливає, що

$$\varepsilon_z = 0, \quad \gamma_{yz} = 0, \quad \gamma_{zx} = 0, \quad (4.10)$$

а решта деформацій також є функціями тільки змінних x і y :

$$\varepsilon_x = \varepsilon_x(x, y), \quad \varepsilon_y = \varepsilon_y(x, y), \quad \gamma_{xy} = \gamma_{xy}(x, y). \quad (4.11)$$

Таким чином, завдання розрахунку плоскої деформації зводиться до визначення σ_x , σ_y , τ_{xy} як функцій (x, y) .

Основні рівняння теорії пружності при плоскій деформації спрощуються. Так, з трьох диференціальних рівнянь рівноваги залишаються два:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y = 0 \quad (4.12)$$

З шести формул Коші залишаються три:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (4.13)$$

Умова нерозривності деформацій Сен-Венана зводиться до виразу:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (4.14)$$

Користуючись законами Гука і Пуассона для одновісного напруженого стану, знайдемо зв'язок між деформаціями і напруженнями у випадку тривимірності.

Дотичні зусилля викликають перенахил граней паралелепіпеда, при цьому лінійні розміри елементів не змінюються (рис.4.3). Наприклад, дотичне напруження τ_{xy} викликає скривлення грані, паралельної площині xOy і залишає без зміни інші грані паралелепіпеда.

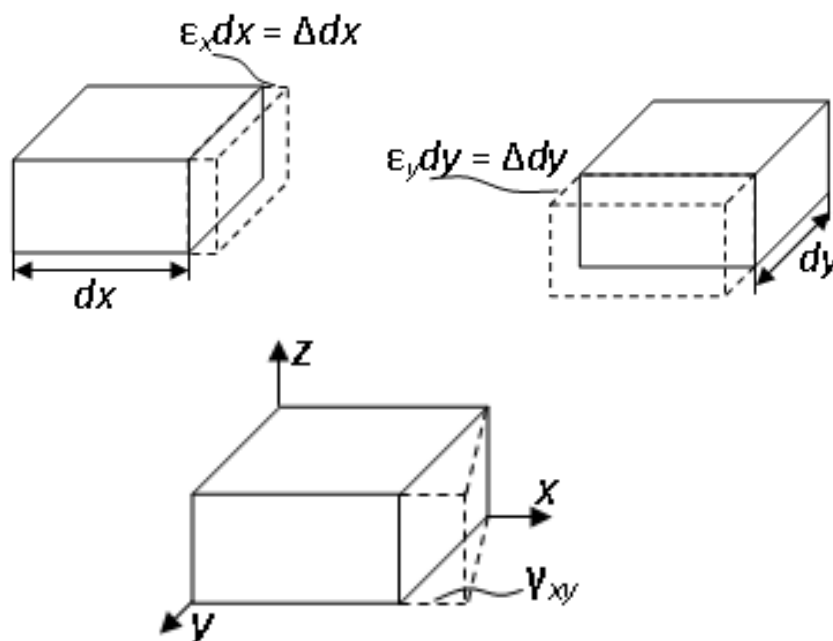


Рисунок 4.3 Деформації подовження і зміни кутів

З усього сказаного отримуємо закон Гука, що зв'язує зсувні деформації і дотичні напруження в двовимірному випадку у вигляді:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}. \quad (4.15)$$

Зворотні співвідношення:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y), \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x), \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \quad (4.16)$$

де E – модуль пружності, μ – коефіцієнт Пуассона.

Тут G – модуль зсуву, який можна знайти з дослідження на зсув або розрахувати через відомий коефіцієнт Пуассона і модуль пружності E .

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \quad (4.17)$$

Рівняння закону Гука можна вирішити відносно напружень:

$$\sigma_x = \lambda\theta + 2G\varepsilon_x, \quad \sigma_y = \lambda\theta + 2G\varepsilon_y, \quad (4.18)$$

де θ – об'ємна деформація, $\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y$. Тут λ – постійна Ляме:

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}. \quad (4.19)$$

Таким чином, для ізотропного пружного тіла можна записати фізичні рівняння, що зв'яжуть компоненти тензора напружень та тензора деформацій.

Співвідношення між напруженнями і деформаціями визначається із закону Гука і може бути представлене у вигляді:

$$\sigma_x = \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + 2\mu\varepsilon_x, \quad \sigma_y = \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + 2\mu\varepsilon_y, \quad (4.20)$$

$$\tau_{xy} = \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y).$$

Умову динамічної рівноваги елемента пружного середовища можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \rho f_1 = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \rho f_2 = 0, \quad (4.21)$$

де σ_x і σ_y – компоненти тензора напружень, а компоненти вектора об'ємної сили, віднесені до одиниці маси, позначені символами f_1 і f_2 . Вважаємо, що вони можуть включати активні сили (наприклад, сили тяжіння) і сили інерції.

Якщо вважати, що при динамічному деформуванні елемента пружного середовища на нього діють тільки сила тяжіння і сили інерції, тоді f_1 і f_2 являють собою взяті зі зворотним знаком прискорення, і які можна записати:

$$f_1 = -\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; f_2 = -\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}. \quad (4.22)$$

Тоді рівняння руху елемента пружного середовища в остаточній формі [104]:

$$\begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= 0; \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= 0. \end{aligned} \quad (4.23)$$

Ці рівняння описують динамічну поведінку пружного середовища при будь-якому характері динамічної дії за умови, що напруження в середовищі не перевищують межу пружності. Для замикання системи диференціальних рівнянь необхідно також задати початкові і граничні умови. Зазвичай приймається, що при $t = 0$ пружні переміщення і швидкості дорівнюють нулю, тобто $u|_{t=0} = 0, v|_{t=0} = 0, \dot{u}|_{t=0} = 0, \dot{v}|_{t=0} = 0$.

До отриманих диференціальних рівнянь необхідно додати критерій руйнування Нейбера для кутової зони (точка A) у вигляді, що дозволяє отримати залежність коефіцієнта концентрації напружень від радіуса заокруглення кутової зони β (рис. 4.2).

Оскільки формування мікротріщин відбувається на міжмолекулярному рівні, необхідно описати процес концентрації напружень для матеріалу, що має зернисту структуру. В роботі [103] пропонується структуру матеріалу врахувати через розмір зерна r_z і прийняти відстань між зернами r_0 . Згідно критерію руйнування Нейбера процес утворення мікротріщин не розвивається, якщо діюче на зерно напруження σ_z не перевищує теоретичної міцності σ^* матеріалу, тобто $\sigma_z = \omega \sigma_0 \leq \sigma^*$, де $\sigma_0 = \text{const}$ – характерні (номінальні)

напруги. Коефіцієнт концентрації напружень, який би залежав від радіуса заокруглення кутового вирізу β на уступі і від класичного коефіцієнта концентрації K_{III}^0 , тобто $\omega = \omega(\beta, K_{III}^0)$, можна отримати у вигляді:

$$\omega = \frac{\sigma_3}{\sigma_0} = 1 + 1,1215 \sqrt{\frac{2l}{r_3}} \left(\sqrt{\frac{\beta}{2r_3} + 1} - \sqrt{\frac{\beta}{2r_3}} \right), \quad (4.24)$$

де l – ефективна довжина тріщини.

Мікротріщинуватість гірських порід в природних умовах характеризується залежністю концентрації мікротріщин від їх розмірів, і обумовлена статистичними закономірностями розподілу неоднорідностей з поступовим укрупненням мікротріщин. Формування напружених зон (в районі точки A) сприяє інтенсифікації процесу появи додаткової мікротріщинуватості, істотно знижуючи характеристики міцності частин блоків, а значить, і зменшуючи довговічність декоративного матеріалу.

4.3. Числове моделювання зональної технологічної тріщинуватості на кар'єрах декоративного каменю

На основі теоретичних та експериментальних досліджень в роботах [89, 90, 93] сформульовані основні положення розвитку напружень в земній корі. Початок створення експериментальних методів дослідження напруженого стану породного масиву припадає на початок другої половини минулого сторіччя. Відтоді були розроблені геологічні, механічні, геофізичні та інші методи. При цьому досвід їх використання показав, що кожен з конкретних методів має свої переваги та недоліки, межі застосування та інформативні можливості. Багато в чому це пояснюється різноманітними завданнями, які необхідно вирішувати при вивченні напружено-деформованого стану масиву.

При експериментальному визначенні напружень необхідно враховувати той факт, що їх безпосередній прямий вимір в порідному масиві іноді взагалі неможливий. Визначення напруження може бути здійснено тільки шляхом

реєстрації параметрів механічних і геофізичних процесів в геологічному середовищі, обумовлених цими напруженнями. Необхідною умовою при цьому є визначення взаємозв'язків між вказаними параметрами і напруженнями та можливість об'єднання цих даних для розрахунку і моделювання картини в цілому. Об'єднуючим для всіх гірських порід є той факт, що гірські породи не можна ідеалізувати, як це робиться в механіці або фізиці твердого тіла, оскільки з самого початку в них присутній набір дефектів, що визначають їх конкретні властивості і подальшу поведінку. Фізична неоднорідність і анізотропія властивостей гірських порід значно ускладнює або робить неможливим отримання рішень в аналітичному вигляді.

Тому особливої актуальності набуває математичне моделювання процесу розподілу напружено-деформованого стану в гранітних блоках в процесі їх видобування із застосуванням прикладних комп'ютерних програм. Сучасні числові технології дозволяють створювати моделі реальних масивів і, уникаючи впливу масштабного ефекту, оцінювати параметри масиву. Найбільш розповсюджене проведення досліджень з використанням методу кінцевих елементів на базі різних програмних комплексів для вирішення геомеханічних задач, таких як Z_SOIL.PC®, програмний комплекс ANSYS та Плаксис. Для інженерних розрахунків досить просто реалізувати розроблений алгоритм методу кінцевих елементів для розрахунку напружено-деформованого стану гранітного уступу в процесі видобування блоків, який включає процедуру вирішення крайової задачі теорії пружності в постановці плоскої деформації з використанням пакету Mathcad.

Використання методів кінцевих елементів для вирішення задач гірничої геомеханіки дозволило створити зручну в практичному відношенні методику для вирішення складних диференціальних рівнянь механіки деформування твердого тіла [105, 106, 107].

Суть методу кінцевих елементів полягає в тому, що суцільне тіло з об'ємом V і площею зовнішньої поверхні S розбивають на трикутникові

елементи (рис.4.4). На тіло діють поверхневі сили P і об'ємні сили Q . В результаті відбувається заміна суцільного реального тіла на кінцеві елементи.

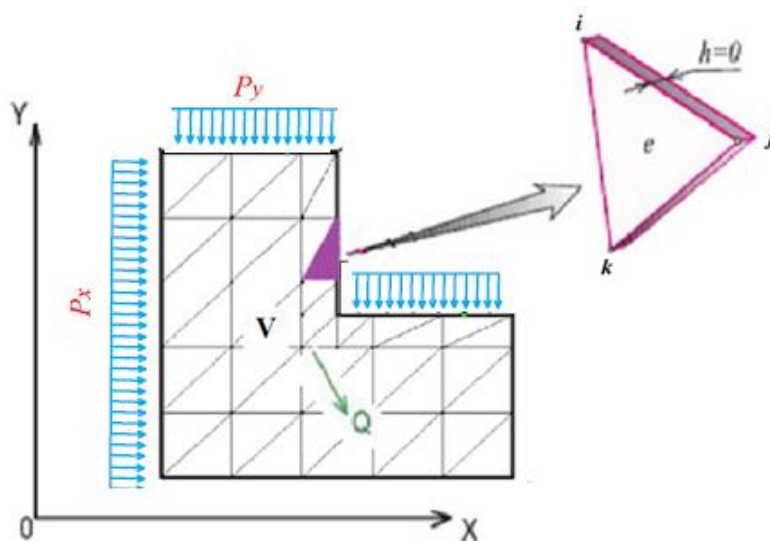


Рисунок 4.4 Розрахункова схема в кінцево-елементному вигляді

Для правильного відображення поля переміщень та поля напружень приймається, що для кожного з вузлів елемента виконано рівняння рівноваги і у вузлових точках забезпечена нерозривність деформацій. Рівновага буде повною тільки при умові рівняння віртуальних робіт. Причому сума добутків переміщень на відповідні компоненти напружень визначає зовнішню роботу, тоді як сума добутків деформацій на відповідні компоненти напружень – внутрішню роботу. Тоді величина потенційної енергії, накопиченої тілом при деформації [105]:

$$\Pi = U + W, \quad (4.25)$$

де перший член цього рівняння відповідає варіації енергії деформацій U тіла, а другий – варіації потенційної енергії W зовнішнього навантаження, тоді Π – повна потенційна енергія. Для забезпечення рівняння рівноваги повна потенційна енергія повинна приймати стаціонарне значення.

В методі кінцевих елементів середовище поділяється на серію елементів, які взаємодіють між собою в кінцевій кількості вузлових точок. В задачі аналізу об'єкта кінцеві рівняння МКЕ можуть бути отримані мінімізацією загальної потенційної енергії системи.

Використовуючи матричні позначення, енергію деформації можна виразити рівнянням:

$$U = \frac{1}{2} \int_V \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} dV = \frac{1}{2} \int_V \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} dV, \quad (4.26)$$

де $\{\sigma\}$ – вектор, що містить компоненти напружень або зусиль; $\{\varepsilon\}$ – вектор, що містить компоненти деформацій.

Потенціал навантажень, який прикладений в об'ємі об'єкта і на його поверхню, дорівнює:

$$W = - \int_V \{\delta\}^T \{Q\} dV - \int_S \{\delta\}^T \{P\} dS, \quad (4.27)$$

де $\{\delta\}$ – вектор переміщень внутрішніх вузлів елемента; $\{Q\}$ – вектор сил, розподілених по об'єму матеріалу; $\{P\}$ – вектор сил, розподілених по поверхні об'єкта.

Для отримання умови рівноваги механічної системи необхідно вирішити задачу у варіаційній постановці за допомогою методу Рітца із застосуванням мінімізації потенційної енергії системи. Це можна представити у вигляді:

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} dV - \int_V \{\delta\}^T \{Q\} dV - \int_S \{\delta\}^T \{P\} dS, \quad (4.28)$$

$$\text{де } \{\delta\} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \\ u_k \\ v_i \\ v_j \\ v_k \end{bmatrix} \text{ – вектор вузлових переміщень,}$$

а вектор деформацій ε визначається з рівняння Коші, і рівняння закону Гука для напружень σ може бути представлено в матричній формі:

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [B]\{\delta\}, \quad \{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (4.29)$$

де $[D]$ – матриця зв'язку напружень і деформацій, яка відображає характеристики матеріалу, для випадку плоско-деформованого стану має вигляд:

$$[D] = \frac{E}{(1-2\mu)(1+\mu)} \begin{bmatrix} 1-\mu & \mu & 0 \\ \mu & 1-\mu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\mu}{2} \end{bmatrix}, \quad (4.30)$$

де $[B]$ – матриця похідних функції форми:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_j}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial N_j}{\partial y} & \frac{\partial N_j}{\partial x} & \frac{\partial N_k}{\partial y} & \frac{\partial N_k}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad (4.31)$$

де $N_i = \frac{1}{2\Delta}(a_i + b_i x + c_i y)$; $a_i = x_j y_k - x_k y_j$; $b_i = y_j - y_k$; $c_i = x_k - x_j$ вирази для функцій форми N_i , N_k можна отримати шляхом підстановки по колу індексів номерів вузлів елемента i, j, k , а $x_{i,j,k}$, $y_{i,j,k}$ – координати цих вузлів:

$$\begin{cases} a_i = x_j y_k - x_k y_j \\ b_i = y_j - y_k \\ c_i = x_k - x_j \end{cases}, \begin{cases} a_j = x_k y_i - x_i y_k \\ b_j = y_k - y_i \\ c_j = x_i - x_k \end{cases}, \begin{cases} a_k = x_i y_j - x_j y_i \\ b_k = y_i - y_j \\ c_k = x_j - x_i \end{cases}.$$

В результаті перетворень матрицю $[B]$ можна записати у вигляді:

$$[B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix}.$$

Співвідношення між вузловими силами і вузловими переміщеннями записується у вигляді рівняння жорсткості:

$$\{F\} = [K]\{\delta\},$$

де $[K]$ – квадратна матриця жорсткості елемента, а $\{F\}$ і $\{\delta\}$ відповідно вектори сил і переміщень для елемента, $\{F\}$ – вектор еквівалентних вузових сил, до якого наводяться всі поверхневі $\{P\}$ і розподілені по об'єму сили $\{Q\}$, які діють на даний кінцевий елемент.

$$\{P\} = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} \text{ – вектор поверхневих сил, } \{Q\} = \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \end{bmatrix} \text{ – вектор об'ємних сил}$$

(напружень). Тоді матрицю жорсткості кінцевого елемента можна представити у вигляді:

$$[K] = \int_V [B]^T [D][B] dV = \Delta [B]^T [D][B],$$

де Δ – площа елемента.

Коли об'єкт моделюється набором кінцевих елементів, потенційна енергія всього об'єкта буде складатися з потенційних енергій окремих кінцевих елементів. В силу цього глобальна система рівнянь МКЕ може бути отримана шляхом складання по всім кінцевим елементам.

Точність результатів буде визначатися частотою розбиття розрахункової області трикутною сіткою кінцевих елементів.

Для аналізу напружено-деформованого стану на уступах блочного каменю в процесі його видобування використовувався пакет Mathcad. Як відмічається в роботі [107], вже існують розроблені програмні блоки для вирішення плоскої задачі механіки деформованого твердого тіла, які дозволяють уникнути необхідності вирішення задачі шляхом транспонування

матриць та знаходження коренів системи алгебраїчних рівнянь. В пакеті Mathcad для цього передбачено спеціальні функції та інструменти. Використовуючи стандартні прийоми завантаження даних, в пакеті Mathcad формуємо таблиці вихідних даних з інформацією про вузли елементів і задані вузлові сили та переміщення. Для певного виду гранітоїду формуються матриці $[B]$ і $[D]$, а також формується матриця жорсткості. За вже відомими вузловими переміщеннями розраховуються деформації і напруження для кожного елемента.

Для дослідження закономірностей розподілу напружень було розглянуто вертикальний розріз, який перетинає єдину морфологічну структуру, характерну для Житомирських гранітоїдів. Скрипт для розрахунку в Mathcad наведено у Додатку D.

Таблиця 4.2. Вихідні дані для числового моделювання

Об'ємна маса (питома вага) граніту, кг/м^3	Міцність на стиснення/згин, МПа	Модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт Пуассона, μ	Кут внутрішнього тертя φ , град
2700	165/18	$0,8 \cdot 10^5$	0,25	37

Вважаємо, що морфологічна структура вміщує однорідні ізотропні породи з механічними властивостями (питома вага, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона), які відображають властивості найбільш розповсюджених гранітоїдів. Математичним моделюванням визначаємо горизонтальні (σ_x) та вертикальні (σ_y) напруження, які будуть діяти на умовний блок, розташований в усередненому середовищі гранітоїдів.

При розгляді напружено-деформованого стану масиву гірських порід будемо припускати, що під впливом тривалого геологічного періоду напружено-деформований стан масиву вже стабілізувався.

Вирішення задачі математичного моделювання напруженого стану порід в гірському масиві здійснюється методом кінцевих елементів, де припускаються три типи граничних умов: дія тільки гравітаційних сил; дія на "нескінченності" рівномірно розподілених по глибині горизонтальних стискаючих тектонічних сил, викликаних рухом літосферних плит; спільна дія гравітаційних і тектонічних сил.

В умовах дії гравітаційних сил горизонтальне напруження на деякій глибині H згідно з роботами [90, 92] можна визначити за формулою (4.2). Розподіл вертикальних напружень в умовах дії гравітаційних сил відповідає залежності (4.1). Суттєво впливають на розподіл горизонтальних напружень тектонічні сили. Як зазначається в роботі [90], вони залежать від взаємодії літосферних плит і досягають значень до 40 МПа.

Тектонічні сили впливають і на значення вертикальних напружень. В умовах спільної дії гравітаційних і тектонічних сил вертикальні напруження можуть виявитися більше, ніж встановлені їх значення для умов, коли діють тільки гравітаційні сили. Більш точну інформацію в певних умовах рекомендується визначати експериментальним шляхом за методикою, описаною в роботі [93].

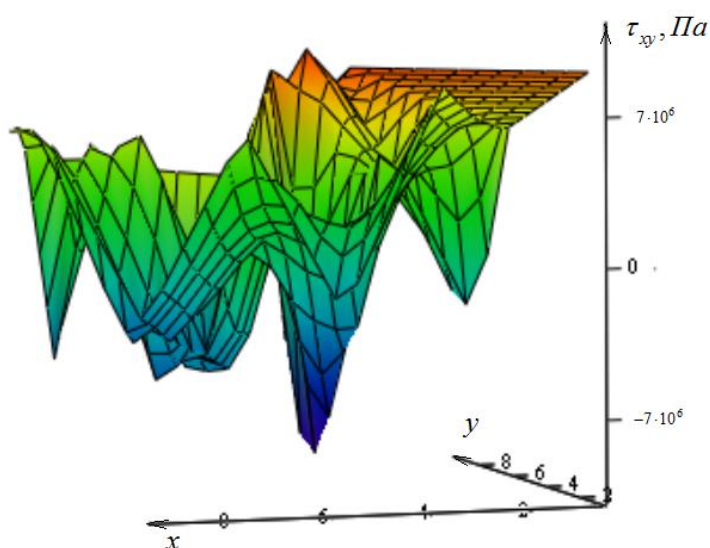


Рисунок 4.5 Залежності дотичних напружень τ_{xy} при значенні кутової зони 90° . Max значення $-7,24$ МПа, min значення $-7,38$ МПа.

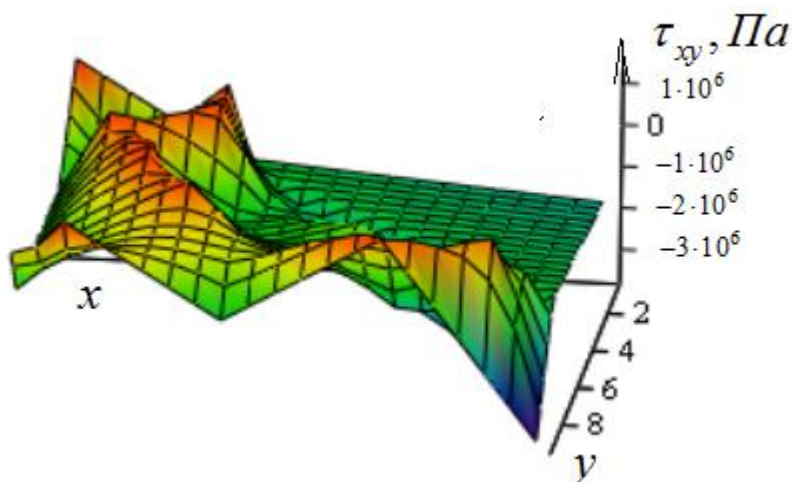


Рисунок 4.6 Залежності дотичних напружень τ_{xy} при значеннях кутової зони 80° . Max значення $-1,19\text{МПа}$, min значення $-3,69\text{ МПа}$.

В результаті проведення числового моделювання отримані для конкретного граніту результати повністю співпадають з експериментальними результатами по утворенню напружених зон в кутовій частині уступу. При значенні робочого кута уступу 90° дотичні напруження τ_{xy} набувають максимальних значень на стиснення $-7,24\text{МПа}$, а максимальних значень на розтягнення $-7,38\text{ МПа}$. Для гранітів, у яких міцність на згин складає 18 МПа напружені зони з такими значеннями дотичних напружень призводять до активного процесу тріщиноутворення з відповідним зниженням якісних характеристик видобутих блоків. Застосування технологічних прийомів, які призведуть до зменшення робочого кута уступу на 10° , дозволять знизити в кутових зонах дотичні напруження на стиснення з $7,24$ до $1,19\text{ МПа}$, а на розтягнення з $7,38$ до $3,69\text{ МПа}$. Відповідно знижується процес утворення технологічної тріщинуватості. Зниження процесу тріщиноутворення дозволить отримувати блоки більших розмірів і тим самим підвищити ефективність видобування блокового каменю на кар'єрах.

Аналіз представлених результатів виявляє в околиці кута уступу

область концентрації високих напружень, яка представляє небезпечну зону. По мірі заглиблення в масив ця концентрація швидко знижується. Особливо слід відзначити появи напружень розтягнення, які найбільш небезпечні для гранітоїдів.

Використовуючи запропоновану методику можна змоделювати інтенсивність зміни значень максимальних дотичних напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу. Формування напружених зон сприяє інтенсифікації процесу появи додаткової мікротріщинуватості, істотно знижуючи характеристики міцності блокового каменю, а значить, і зменшуючи довговічність декоративного матеріалу.

Встановлено, що при зменшенні кута укосу інтенсивність формування зональних напружень знижується і може бути описана поліноміальними залежностями виду: для стиснення $y = 0,265x^2 - 3,109x + 10,074$ і для розтягнення $y = -0,2493x^2 + 2,4007x - 9,506$. Змінюючи кут уступу, можна регулювати динаміку процесу тріщиноутворення в процесі відокремлення блоків від масиву.

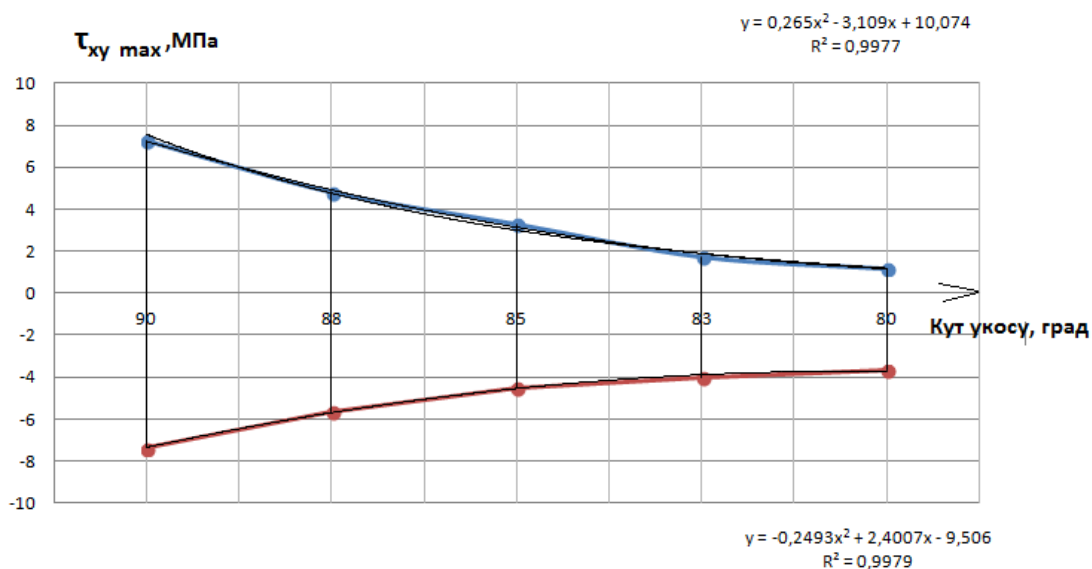


Рисунок 4.6 Зміна інтенсивності напружень в кутовій зоні в залежності від кута укосу робочого уступу

В результаті можна встановити залежність утворення максимальних зональних напружень в масиві від різних кутів уступу при відділенні блоків

108, 109]. Найбільш критичні з точки зору інтенсифікації процесу тріщиноутворення для гранітоїдів – напруження розтягнення, які виникають при частковому розвантаженні уступу. За рахунок збільшення розвантажувальних напружень в кутових зонах утворюються деформації, які складають 40-50% від граничних критичних значень деформацій руйнування гранітів при одновісному розтягненні, що призводить до динамічного руйнування, так званого стріляння гранітів. Як зазначалося в розділі 1, цей процес знаходиться в активній фазі в перші доби після видобування і стабілізується протягом 10 днів, але саме за рахунок утворення такої зональної технологічної мікротріщинуватості можна пояснити зниження міцнісних характеристик в кутах блоків. Розроблена методика та програмне забезпечення аналізу утворення концентрації критичних напружень, закономірностей їх просторового розподілу може стати шляхом вдосконалення технологій відокремлення блокового каменю від масиву. Збільшуючи кут уступу на 10^0 , можна вдвічі знизити зональні напруження розтягнення і тим самим підвищити якість видобутих блоків.

Висновки

В процесі видобування кам'яних блоків змінюється напружено-деформований стан масиву. Відбувається перерозподіл напружень у масиві блочного каменю та концентрація їх у певних зонах, що має негативний характер.

В результаті виконаних досліджень запропоновано методику, яка дозволила змодельовати процес формування зональної технологічної мікротріщинуватості в процесі виймання блоків. Зональна наведена мікротріщинуватість є результатом перерозподілу природного напруженого стану масиву внаслідок часткової виїмки блоків. Це природний процес, викликаний розвантаженням, і виключити його повністю неможливо, проте можна його регулювати. В результаті проведеного моделювання зміни

напружено-деформованого стану масиву блочного каменю було встановлено, що технологія, яка передбачає зменшення кута робочого уступу від 90^0 до 80^0 призводить до зниження інтенсивності напружень за поліноміальною залежністю виду: для напружень стиснення $y = 0,265x^2 - 3,109x + 10,074$ і для розтягнення $y = -0,2493x^2 + 2,4007x - 9,506$.

Запропонована методика математичного моделювання дозволить вдосконалити технологію відокремлення блокового каменю від масиву, знижуючи процес утворення технологічної тріщинуватості, дозволить отримувати блоки більших розмірів, підвищити якість облицювальної продукції, що виготовляється з таких блоків.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ РОЗРОБКИ НА ВИХІД БЛОКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Кондиції на мінеральну сировину являють собою сукупність граничних вимог щодо якості та кількості мінеральної сировини в надрах та гірничо-геологічних та гірничотехнічних умовах розробки, дотримання яких забезпечить найбільш повний і економічно ефективний видобуток запасів граніту. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-197:2009, Інструкції Державної комісії по запасам та із застосуванням Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ будівельного і облицювального каменю та інших нормативних документів, на родовищах природного каменю, придатного для виробництва облицювальних виробів, необхідно враховувати загальний вихід блоків із гірничої маси.

5.1. Загальні відомості по Анастасіївському родовищу гранітів

Анастасіївське родовище гранітів знаходиться в Маловисківському районі Кіровоградської області. За умовами залягання і додержанням якості корисної копалини Анастасіївське родовище відноситься до I групи по «Класифікації запасів та прогнозованих ресурсів твердих корисних копалин». Природна радіоактивність корисної копалини відповідає вимогам ДБН 8.1.4-1.01.97 для будівельних матеріалів I класу.

Анастасіївське родовище гранітів, придатних для виробництва облицювального каменю, розташоване в центральній частині Новоукраїнського масиву порфіробластичних трахітоїдних гранітів. Для геологічної будови родовища, як і в цілому для регіону, характерна двоповерхова будова: кристалічні утворення фундаменту (нижній структурний поверх) та осадовий чохол (верхній структурний поверх).

Верхній структурний поверх – це породи осадового чохла, представлені відкладами четвертинної та неогенової системи. До четвертинних утворень віднесено шар ґрунту, найбільша потужність якого (до 0,9 м) спостерігається в

західній частині родовища. Відсутній рослинно-грунтовий шар в північно-східній та південно-західній частині родовища в борту долини річки Плетений Ташлик.

Нижче за розрізом залягають суглинок та глини четвертинного віку. Суглинок лесовидний, світло-бурого кольору з жовтуватим відтінком, з домішками тонкозернистого піску та карбонатних стяжін, поблизу контакту з кристалічними породами – збагачений жорсткою граніту. На площі родовища суглинок має повсюдне поширення, крім долини р.Плетений Ташлик, де на денну поверхню виходять граніти. Потужність суглинків коливається від 2,8 м в центральній частині площі на профілі від 4 м до 1 м і менше, і складає в середньому 1,8 м.

Таблиця 5.1. Геологічний розріз Анастасіївського родовища гранітів

Найменування породи	Потужність на відстані від (м)	Потужність на відстані до (м)	Середня потужність на відстані (м)
1	2	3	4
Рослинно-грунтовий шар	0,0	0,9	0,52
Суглинок світло-бурий, жовтуватий, лесовидний	1,0	1,8	1,5
Глина бура, червоно-бура	0,0	4,1	2,05
Пісок дрібнозернистий	0,0	2,3	0,85
Кора вивітрювання гранітів	0,0	1,6	0,58
Граніти вивітрені та зачеплені вивітрюванням	0,0	4,3	1,92
Граніти свіжі (максимальна потужність, що розкрита свердловинами)	22,13	30,33	26,48

Корисною копалиною для одержання товарних блоків є незмінні граніти, для виробництва щебеню для будівельних робіт – порушені вивітрюванням граніти, а також відходи від обробки блоків.

Макроскопічно Анастасіївські граніти – це породи сірувато-рожевого, рожевого та коричнево-червоного кольору, порфіробластової структури та трахітоїдної текстури (рис. 5.1). Трахітоїдність визначається рівномірно

розташованими та орієнтованими в одному напрямку крупними, об'ємними зернами переважно калієвого польового шпату розміром 0,5-9,0 см і плагіоклазу 0,5-3,0 см, а також рівномірним розподіленням в міжзерновому просторі ізоморфних зерен напівпрозорого кварцу розміром 0,3-0,8 см і темно-червоного гранату розміром 0,3-1,5 см. В невеликій кількості присутні темноколірні мінерали, зокрема біотит (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 Зовнішній вигляд Анастасіївського граніту в полірованому виробі

Мінеральний склад породи: плагіоклаз 12-38%, калішпат 18-85%, кварц 15-35%, біотит 0-6%, гранат 0-8%, акцесорні мінерали – апатит 0-1%, монацит, циркон; рудні – ільменіт; вторинні – хлорит, лейкоксен, серицит.

Головним породоутворюючим мінералом є калішпат, який зустрічається в основній масі породи, порфіробластах і антипертитах. В основній масі утворює зерна неправильної форми розміром від 0,2-0,5 см до 1,0 см. Спостерігається декілька його генерацій: чітко решітчастий мікроклін і нерешітчастий криптопертитовий ортоклаз.

Плагіоклаз (олігоклаз) порфірових виділень не утворює, в основній масі спостерігається у вигляді слабоідоморфних зерен розміром від 0,1-0,3 см до 0,8-1,0 см.

Кварц має ксероформну форму зерен розміром від 0,1-0,2 см до 0,5-0,7 см.

Кольорові мінерали мають нерівномірний розподіл і представлені переважно біотитом у вигляді окремих лусочок або невеликих сегрегацій, іноді зустрічаються зерна граната у вигляді поодиноких мілких зерен або порфіробластів розміром до 8 мм.

Граніти однорідні за мінеральним та хімічним складом, за структурно-текстурними особливостями та петрографічними властивостями. Це червоні, рожево-червоні, сірувато-рожеві породи з крупнозернистою порфіробластовою структурою, масивною та трахітоїдною текстурою, добре піддаються поліровці та мають унікальне забарвлення та високі декоративні якості.

За особливостями та складністю геологічної будови за класифікацією ДКЗ України Анастасіївське родовище відноситься до І групи – масивні вивержені породи однорідного складу з витриманими фізико-механічними властивостями, з непорушеним або слабопорушеним заляганням.

Хімічний склад гранітів родовища вивчено за пробами, відібраними з керну свердловин. Коливання вмістів компонентів у незмінену граніті і середні їх значення на родовищі наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Хімічний склад Анастасіївських гранітів

Компонент	Вміст, %		
	<i>Від</i>	<i>До</i>	Середнє значення
1	2	3	4
SiO ₂	69,85	72,10	70,75
Al ₂ O ₃	13,27	14,10	13,70
Fe ₂ O ₃	0,82	1,75	1,19
FeO	1,90	2,96	2,48
TiO ₂	0,26	0,37	0,32
MnO	0,020	0,040	0,031
CaO	1,39	1,69	1,58
MgO	0,11	0,34	0,24
P ₂ O ₅	0,204	0,288	0,24
K ₂ O	5,28	6,13	5,86
Na ₂ O	2,67	3,14	2,92

SO ₃	0,04	0,06	0,04
Fe ₂ O ₃ (заг.)	3,50	4,57	3,96
Сума	99,52	100,5	99,68
H ₂ O	0,02	0,12	0,04

З наведених даних хімічного аналізу видно, що породи родовища характеризуються незначним вмістом Fe₂O₃ і відсутністю сульфідних сполук, які під впливом навколишнього середовища можуть викликати небажані зміни у полірованих поверхнях виробів.

За результатами лабораторних визначень, які відповідають нормативним вимогам стандартів, незмінні граніти для розробки блоків характеризуються такими середніми значеннями фізико-механічних властивостей:

- питома вага – 2,70 (г/см³);
- об'ємна вага – 2,67 (г/см³);
- пористість – 1,20 (%);
- водопоглинання за вагою – 0,23 (%);
- межа міцності при стисканні в сухому стані – 1710 кг·с/см² при нормі 800 кг·с/см²;
- межа міцності при стисканні в стані насичення водою – 1467 кг·с/см²;
- межа міцності після 30 циклів заморожування – 400кг·с/см²;
- коефіцієнт розм'якшення – 0,85 при нормі не менш, як 0,8;
- зниження міцності після 30 циклів заморожування (%) – 7,25 %.

На відміну від наведених, вивітрені граніти мають такі середні значення:

- питома вага – 2,68 (г/см³);
- об'ємна вага – 2,65 (г/см³);
- пористість – 2,22 (%);
- водопоглинання за вагою – 0,38 (%);
- межа міцності при стисканні в сухому стані – 1055 кг·с/см²;
- межа міцності при стисканні в стані насичення водою – 576 кг·с/см²;
- коефіцієнт розм'якшення – 0,56.

Основний водоносний горизонт відноситься до тріщинуватої зони кристалічних порід. Рівні підземних вод фіксуються на глибинах від 5,2 м до 10,9 м. Гідрогеологічні умови родовища характеризуються припливом води за рахунок атмосферних опадів в кількості 141 м³/год.

На Анастасіївському родовищі ретельно вивчалась тріщинуватість порід як у відшарованих, так і в керні свердловин, відмічали всі виявлені тріщини, вимірювали їх напрямок та кути падіння, характер заповнення та відстань між тріщинами. Розвідувальними свердловинами в корінних породах розкрито 35 тріщин: пологі (0°-20°) – 10 шт. або 28,6%; похилі (21°-79°) – 9 шт. або 25,7%; круті (80°-90°) – 16 шт. або 45,7%.

Напрямок простягання тріщин в гранітах, в цілому, добре збігається з напрямком розривних порушень, відомих в межах району.

Отже, ділянка родовища характеризується відсутністю розривних порушень і спостерігаються тільки окремі тріщини, які можна об'єднати в три системи: субвертикальні продольні, поперечні та субгоризонтальні тріщини пластового типу. Середня відстань між тріщинами систем та умови їх залягання дозволяють видобувати з масиву досить великі блоки, які за формою близькі до паралелепіпеда.

Умови залягання корисної копалини досить прості. Абсолютні позначки покрівлі кристалічних порід, представлених незміненими гранітами, змінюються від 162 м до 171 м. В центральній частині площі родовища – 170-171 м. На схід в бік долини р.Плетений Ташлик поверхня знижується під кутом 15°-20°.

Поряд з фізико-механічними властивостями декоративні якості каменю відіграють головну роль у визначенні його придатності для облицювальної продукції. Найбільш повно декоративні якості (колір, здатність до полірування тощо) граніту проявляються у виробках, виготовлених із полірованою фактурою лицьової поверхні. У виробках з фактурою сколювання ці якості відчутно втрачаються або не проявляються взагалі. Граніти Анастасіївського родовища характеризуються порфіроподібною нерівномірно зернистою

структурою, трахітоїдною текстурою, сірувато-рожевим і рожевувато-сірим кольором, іноді з червоним і зеленуватим відтінками. При поліруванні зразків сколювань не спостерігалось. У трьох зразках відзначалася наявність тонких одиничних тріщинок подовжного і поперечного напрямку, які не впливають негативно на експлуатаційні властивості граніту. Характер поверхні дзеркальний. З наведених даних було зроблено висновок про порівняно досить високу однорідність корисної копалини і відповідність до існуючого на той час ГОСТу 9480-89 "Плиты облицовочные пиленные из природного камня".

5.2. Технологія видобутку корисної копалини

Гірничо-геологічні умови та фізико-механічні властивості корисної копалини Анастасіївського родовища обумовлюють транспортну систему розробки з паралельним просуванням фронту робіт та зовнішнім розташуванням відвалів.

За особливостями і складністю геологічної будови Анастасіївське родовище віднесено до І групи. Загальний вигляд кар'єру представлено на рис.

5.2.



Рисунок 5.2 Загальний вигляд Анастасіївського кар'єру

Технологічна схема видобувних робіт передбачає виколювання блоків в одну або дві стадії. При першому способі відділення блоків від масиву проводиться безпосередньо у вибої шляхом вибуху шпурових зарядів. Він застосовується при наявності чіткої тріщинуватості гранітного масиву, причому тріщини повинні проходити або паралельно через 0,5 м, або під кутом 90° . Розколювання монолітів на блоки необхідних розмірів здійснюється і за допомогою гідравлічного клину, що розміщується у шпурах або шляхом підриву однієї нитки детонуючого шнура, що знаходиться у шпурах. Для розколювання монолітів на блоки також можуть бути використані: непідривна руйнівна речовина НРС-1 (суміш порошку з водою у співвідношенні 1:0,27), якою заповнюються шпури і через декілька годин проходить розколювання моноліту, та буроклиновий метод з використанням пневматичних клепальних молотків.

Відокремлені від масиву моноліти перекидаються на підшву уступу на подушку із дрібного щебеню лебідкою ЛМС-8/800 (ЛПК 10Б), а також за допомогою бульдозерів, призначених для видобувних і розкривних порід. Для надання блокам потрібної форми і розмірів застосовують механічний спосіб обробки з використанням пневматичних відбійних молотків.

Двостадійний метод одержання блоків застосовується, в основному, при відсутності горизонтальних (постільних) тріщин по висоті підступу, а також при розробці разом корисної копалини та порід скельного розкриву. Відділення моноліту від гранітного масиву передбачено із застосуванням: буровибухових робіт – шпуровими зарядами з використанням у якості ВР чорного (димного) порошу, канатних машин Speedcut 75 і Speedcut 100.

Шпури діаметром 40 мм через 0,35 м по лінії запланованого відриву бурять перфораторами ПП-50 та буровою установкою ROCK Buggy. При цьому шпури розташовують, по можливості, поблизу вертикальних тріщин і бурять з недобуром 5-10 см до підшви відокремлюваного моноліту.

У місцях, де горизонтальні або слабо нахилені тріщини відсутні, проводиться буріння горизонтальних шпурів через 0,2-0,3 м в основі моноліту.

В умовах Анастасіївського родовища гранітів підриб шпурових зарядів проводиться при 3-х оголених площинах. Груді вибою й горизонтальна поверхня підступу являють собою дві оголені площини, третя площина створюється випередженням вибоїв, проходкою "голівки" у торцевій частині фронту робіт.

На Анастасіївському родовищі гранітів використовують алмазно-канатне різання, як найбільш ефективний і дешевий метод видобутку каменю. Для алмазно-канатного різання застосовують канатні машини Speedcut 75 і Speedcut 100 потужністю 55 кВт і 75 кВт. Способи первинного різання алмазним канатом поділяються на:

- горизонтальне різання;
- вертикальне різання.

Для попереднього буріння з метою протягування алмазного контуру застосовують спеціальні пневматичні бурильні установки з можливістю їх фіксації відносно горизонту Speedril VH. Пневматичні бурильні установки забезпечуються бурильними головками діаметром 90 мм. Вони використовуються у будь-яких умовах з глибиною буріння до 15-25 м при швидкості 2-10 м/год.

Алмазне різання передбачає охолодження зони різання водою, для цього використовується вода з ґрунтових та атмосферних припливів.

Завалка монолітів проводиться за допомогою бульдозера, навантаження та розвантаження відходів і околу – колісним навантажувачем VOLVO F220F, навантаження блоків – колісним навантажувачем VOLVO F220F та самохідним стріловим краном РДК, проведення допоміжних робіт – бульдозером.

Транспортування кондиційних блоків, відходів і околу виконується автомобільним транспортом та колісним навантажувачем VOLVO F220F.

При поділі уступу на два підступи, перекидання монолітів проводиться за умови, що висота моноліту перевищує його ширину. В іншому випадку, розділення монолітів на блоки здійснюється безпосередньо у вибої.

Обколювання (пасивування блоків) з метою надання їм форми та розмірів у відповідності з вимогами ДСТУ ВВ 2.7-59-97 проводиться механічним способом за допомогою пневматичних відбійних молотків з армованим твердим сплавом. Основні параметри системи розробки граніту Анастасіївського кар'єру представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Параметри системи розробки граніту Анастасіївського кар'єру

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення параметрів
1	2	3
Видобувні роботи		
Кількість уступів всього	шт.	5 (10 підступів)
- з них відробляється одночасно	шт.	1-2 (2-3 підступи)
Висота уступу	м	6,0 (3,0 підступу)
Кути відкосів уступів:	град.	
- робочих		90
- неробочих		75
Відмітки робочих горизонтів	м	164, 158, 152, 146 і 140
Ширина робочих майданчиків:	м	
- на уступах		41
- на підступах		8-10
Ширина заходки по цілику	м	2-3
Середня довжина фронту робіт	м	150
Ширина транспортних берм	м	16,5
Ширина запобіжних берм	м	2,5
Кути погашення борту кар'єру по граніту	град.	70
Розкривні роботи		
Кількість уступів	шт.	1
Висота уступу	м	2-11 (сер. = 6,2)
Кути відкосів уступів:	град.	
- робочого		60
- неробочого		40
Ширина робочого майданчику	м	27
Ширина транспортної берми	м	16,5
Ширина запобіжних берм	м	6,0
Ширина заходки по цілику	м	7,5

5.3. Порівняння економічного ефекту від зміни параметрів видобувних робіт для умов Анастасіївського кар'єру

За 2015 р. фактично видобуто 15 486,86 м³ гірничої маси, з якої одержано 11,087 тис. м³ гірничої маси, загальної кількості товарної продукції 4,74 тис. м³ блоків, а вихід блоків склав 42,72 %. Кінцева продукція має такий вигляд (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 Кінцева продукція видобутку

Згідно з нормативними вимогами до товарної продукції, представленими в таблиці 5.3 проводиться розподіл видобутих блоків за групами. Цей розподіл на групи представлено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. Нормативні вимоги до товарної продукції

№ з/п	Норматив	Назва нормативу
1	2	3
1.	ДСТУ Б EN 1467:2007	Блоки з природного каменю для виробництва облицювальних виробів
2.	ДСТУ Б EN 1468:2007	Плити та вироби з природного каменю
3.	ДСТУ Б В.2.7-75-98	Щебінь і гравій, щільні та природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт
4.	ДСТУ Б В.2.7-241:2010	Камінь бутовий
5.	ДСТУ Б В.2.7-210:2009	Матеріали з відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт

Ціни за 1 м³ блочної продукції родовища прийнято за даними замовника як такі, що склалися в сучасних умовах: блоки I гр. – 5180,0 грн., блоки II гр. – 4774,0 – грн., блоки III гр. – 4578,0 грн., блоки IV гр. – 550,0 грн., щебінь – 187,0 грн., бутовий камінь – 160,0 грн. Середня ціна за 1 м³ товарної продукції складає 2221,27 грн. При перерахунку у гривні використано середній курс НБУ за 2016 рік: долар – 25,06 грн., євро – 28,11 грн.

Таблиця 5.5 Розподіл блоків за групами

№ з/п	Група блоків	Загальний об'єм, тис. м ³	Відсоток, %
1	2	3	4
1.	блоки I групи (більше 5,0 м ³)	2,29	48,4
2.	блоки II групи (3,5-5,0 м ³)	1,87	39,4
3.	блоки III групи (2,0-3,5 м ³)	0,58	12,2
4.	блоки IV групи (1,0-2,0 м ³)	0,03	0,29

За результатами аналізу руху гірничої маси по кар'єру за період 2007-2015 рр. видно, що доцільніше вихід блоків планувати по відношенню до щільних порід, які відокремлені в категорію – "граніти незачеплені вивітрюванням (свіжі)". Видобуток свіжих гранітів та блоків за період 2007-2015 рр. представлено на рис. 5.4.

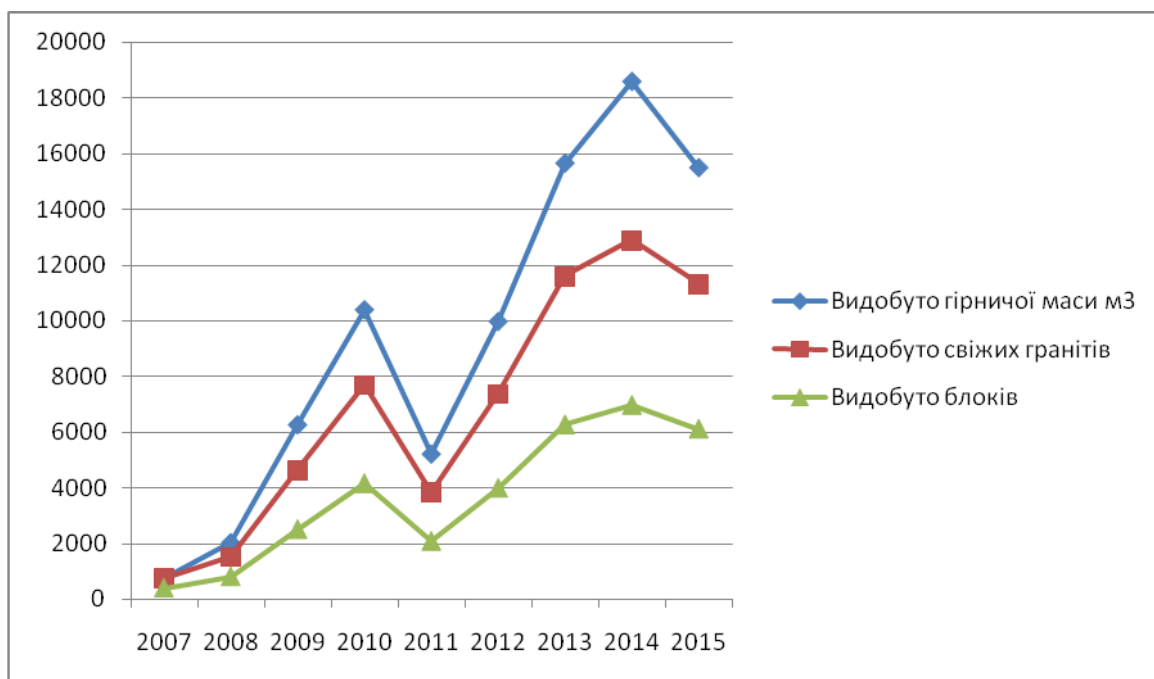


Рисунок 5.4 Видобуток свіжих гранітів та блоків з 2007 р. по 2015 р.

Підприємство випускає товарну продукцію в основному у вигляді блоків (в середньому 42,72%), решта – некондиційна гірнича маса.

Таблиця 5.6. Обсяги видобутку корисної копалини за останні 9 років

№ з/п	Рік	Видобуто гірничої маси, м ³	Видобуто свіжих гранітів, м ³	Видобуто блоків, м ³
1.	2007	729,65	751,14	405,28
2.	2008	2019,60	1512,87	816,24
3.	2009	6253,82	4642,61	2504,83
4.	2010	10382,72	7697,59	4153,08
5.	2011	5201,93	3856,62	2080,76
6.	2012	9962,22	7385,83	3984,88
7.	2013	15648,01	11601,19	6259,19
8.	2014	18580,05	12898,67	6959,22
9.	2015	15486,86	11323,55	6109,63
10.	Всього	83264,86	61670,55	33273,11
11.	В середньому/рік	9251,86	6852,2829	3697,012

Річний обсяг видобутку корисної копалини за 9 років коливався від 729,65 м³ до 17580,05 м³ і в середньому склав 9251,651 м³. Для подальших розрахунків прийнято 9,25 тис.м³. Якщо підприємство буде і надалі працювати з середньою потужністю, досягнутою за 9 років, тобто 9,252 тис.м³, то експлуатаційних запасів руди підприємству вистачить на 71 рік. Розподіл продуктів виробництва в річній потужності підприємства по товарній продукції за 2015 рік наведено в таблиці 5.7.

Згідно з актом випробувань у виробничих умовах Анастасіївського кар'єру зміна робочого куту уступу на 10 градусів при підготовці блокового каменю до виймання призвела до збільшення кількості видобутих блоків першої групи на 1% при незмінних загальних обсягах видобування.

Таблиця 5.7. Розподіл продуктів виробництва в річній потужності підприємства по товарній продукції

Вид товарної продукції	Розподіл, %	Фізичні обсяги, тис.м ³	Примітка
1	2	3	4
Блоки всього, в тому числі:	42,72	4,74	% від загальної кількості товарної продукції (11,087 тис. м ³)
- блоки I групи	48,4	2,29	% від 4,74 (блоки всього)
- блоки II групи	39,4	1,87	-
- блоки III групи	12,2	0,58	-
Бордюрний камінь, всього	0,58	0,06	% від загальної кількості товарної продукції (11,087 тис. м ³)
Бутовий камінь	3,34	0,37	-
Щебінь, всього	53,36	5,92	
Щебінь, в тому числі:	47,19	4,47	% від загальної кількості товарної продукції (11,087 тис. м ³)
- з масивних гранітів			
- з вивітрених гранітів	2,37	0,26	-
- зі складу	3,8	0,42	-
Всього товарної продукції		11,08	сума 4,74+0,06+0,37+5,92

Порівняльний розрахунок очікуваного річного валового доходу при двох варіантах: варіант 1 – кут укосу робочого уступу 90⁰ і варіант 2 – кут укосу робочого уступу 80⁰, наведений у таблиці. 5.8.

Таблиця 5.8. Очікуваний річний валовий дохід

№ з/п	Вид товарної продукції	Ціна, один./ грн.	Варіант 1		Варіант 2	
			Річний випуск продукції, тис.м ³	Сума, тис. грн.	Річний випуск продукції, тис.м ³	Сума, тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7
1.	Блочна продукція,					
	в тому числі:					
	- блоки I групи	5180,0	2,29	11850,53	2,59	13416,2
	- блоки II групи	4774,0	1,87	8909,22	1,78	8497,72
	- блоки III групи	4578,0	0,58	2667,12	0,37	1693,86
2.	Бордюрний камінь	550,0	0,06	35,62	0,06	35,62
3.	Щебінь	187,0	5,92	1106,29	5,92	1106,29
4.	Бутовий камінь	160,0	0,37	59,21	0,37	59,21
Разом		2221,27	11,09	24627,99	11,09	24808,90

Чисельність робітників і цехового персоналу визначена за нормативами чисельності по обслуговуванню прийнятого обладнання і цехового персоналу на відкритих гірничих роботах і по аналогії з діючими кар'єрами по видобуванню блочного каменю. Заробітна плата працюючих приймається на рівні, що склався на теперішній час на діючих кар'єрах. Чисельність і фонд зарплати наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9. Чисельність і фонд зарплати

№ з/п	Кількість працівників	Середньомісячна зарплата, грн.	Річний фонд зарплати, тис. грн.
1	2	3	4
1.	52	7759,61	4842,0

Витрати на матеріали, допоміжні матеріали та електроенергію розраховані і зведені в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. Витрати на матеріали, допоміжні матеріали та електроенергію

№ з/п	Найменування	Сума, тис. грн./рік
1	2	3
1.	ГСМ	4500,0
2.	Матеріали, в тому числі:	3780,0
	- коронка бурова	240,0
	- порошок НРВ	340,0
	- штанга бурова	150,0
	- інші виробничі матеріали	2550,0
-	- інші матеріальні витрати	500,0
3.	Запчастини	2100,0
4.	Електроенергія	1200,0
5.	Послуги сторонніх організацій:	2 510,0
	- оренда авто та обладнання	900,0
	- вибухові роботи	800,0
	- послуги ремонту авто тощо	360,0
	- технічне обслуговування	350,0
	- інші послуги	100,0
	Разом:	14090,0

Розрахунки річних сум податків та відррахувань у цільові фонди наведено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11. Розрахунки річних сум загальнодержавних податків та відрахувань у цільові фонди

№ з/п	Податки, види відрахувань, ставки та тощо	Сума, тис. грн./рік
1	2	3
1.	Податки, що входять до собівартості товарної продукції:	
	- оренда землі	55,44
	- плата за спец використання води	3,5
	- плата за користування надрами (рента)	2060,65
	- екологічний податок	5,0
	Разом	2119,55
№ з/п	Податки, види відрахувань, ставки та тощо	Сума, тис. грн./рік
1	2	3
2.	Податки, що не входять до собівартості товарної продукції:	
	- податок на прибуток	1500,0
	Разом	1500,0
	Разом	3619,55

Розрахунки річних витрат на поточний ремонт допоміжного обладнання приймаються в розмірі 15% від амортизаційних відрахувань та складають 835,5 тис. грн. $\times 0,15 = 125,325$ тис. грн.

Витрати на рекультивацію порушених земель приймаються за даними надкористувача та становлять 9000 тис. грн.

Обґрунтування собівартості 1 м³ товарної продукції наведено в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12. Собівартість товарної продукції

№ з/п	Вид товарної продукції	Собівартість 1 м ³	Річний випуск продукції, тис.м ³	Сума, тис. грн./рік
1	2	3	4	5
1.	Блочна продукція,			
	в тому числі:			
	- блоки I групи	4200,0	2,29	9608,54
	- блоки II групи	4200,0	1,87	7838,02
	- блоки III групи	4200,0	0,58	2446,90
2.	Бордюрий камінь	450,0	0,06	29,14
3.	Щебінь	140,0	5,92	828,24
4.	Бутовий камінь	120,0	0,37	44,41
	Разом	1875,59	11,09	20795,25

Таблиця 5.13. Досягнуті техніко-економічні показники експлуатації родовища станом на 01.01.2016 р.

№ з/п	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4
1.	Підраховані запаси станом на 01.01.2016 р.:		
	- незмінені граніти	тис.м ³	652,70
	- порушені вивітрюванням граніти	тис.м ³	13,51
	- складовані, порушені вивітрюванням граніти	тис.м ³	21,59
	Всього	тис.м ³	687,802
2.	Експлуатаційні запаси:		
	- незмінені граніти	тис.м ³	624,02
	- порушені вивітрюванням граніти	тис.м ³	12,91
	- складовані, порушені вивітрюванням граніти	тис.м ³	20,65
	Всього	тис.м ³	657,58
3.	Річна потужність підприємства:		
	- по гірничій масі	тис.м ³	9,252
	- по блокам всього, в тому числі:	тис.м ³	4,74
	- по блокам I кат.	тис.м ³	2,29
	- по блокам II кат.	тис.м ³	1,87
	- по блокам III кат.	тис.м ³	0,58
	- по бордюрному каменю	тис.м ³	0,06
	- по бутовому каменю	тис.м ³	0,37
	- по щебеню всього, в тому числі:	тис.м ³	5,92
	- по щебеню з масиву (39%) + Кр - 1,45	тис.м ³	5,23
	- по щебеню з вивітрених гранітів + Кр - 1,45	тис.м ³	0,26
	- по щебеню зі складу + Кр - 1,45	тис.м ³	0,42
	- по товарній продукції всього	тис.м ³	11,087
4.	Термін будівництва підприємства	років	0,0
5.	Термін експлуатації родовища	років	71,08
6.	Термін промислового освоєння родовища	років	71,08
7.	Капітальні вкладення в промислове будівництво	тис. грн.	59 383,0
	- промислово-виробничі фонди	тис. грн.	10 482,95
8.	Експлуатаційні виробничі витрати, в тому числі амортизаційні відрахування	тис. грн.	835,5
	Всього	тис. грн.	20 795,25
9.	Експлуатаційні виробничі витрати без амортизаційних відрахувань	тис. грн.	19 959,8
10.	Собівартість виробництва 1 м ³ блоків:		
	- блоків I кат.	грн.	4200,00
	- блоків II кат.	грн.	4200,00
	- блоків III кат.	грн.	4200,00
	- бордюрного каменю	грн.	450,00

№ з/п	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4
	- бутового каменю	грн.	120,00
	- щебеню	грн.	140,00
	- середня собівартість	грн.	1875,59
11.	Відпускна ціна 1 м ³ блоків:		
	- блоків I кат.	грн.	5180,0
	- блоків II кат.	грн.	4774,0
	- блоків III кат.	грн.	4578,0
	- бордюрного каменю	грн.	550,0
	- бутового каменю	грн.	160,0
	- щебеню	грн.	187,0
	- середня вартість	грн.	2221,27
12.	Річна вартість товарної продукції	тис. грн.	24 627,99
13.	Валовий прибуток підприємства	тис. грн.	3 832,7
14.	Податок з прибутку	тис. грн.	689,9
15.	Чистий річний прибуток підприємства	тис. грн.	3 142,8

В результаті проведення випробувань у виробничих умовах Анастасіївського родовища гранітів, що засвідчено в Додатку Е, зміна куту робочого уступу на 10^0 при підготовці блокового каменю до виймання призвело до збільшення кількості видобутих блоків I категорії на 1% при незмінних загальних обсягах видобування. В таблиці 5.14 представлені результати розрахунків техніко-економічних показників при варіанті 1 – кут робочого уступу складає 90^0 і варіант 2 – кут робочого уступу зменшено на 10^0 .

В результаті проведеного порівняння основних техніко-економічних показників промислового освоєння родовища Анастасіївського родовища гранітів при першому варіанті, де кути укосу робочого уступу складали 90^0 і другому варіанті, де кути укосу робочого уступу складали 80^0 , за рахунок збільшення виходу кількості блоків першої категорії при незмінних обсягах видобування, вдалося досягти збільшення загальної вартості товарної продукції і отримати збільшення валового річного прибутку підприємства на 180 тис.грн.

Таблиця 5.14. Порівняння основних техніко-економічних показників промислового освоєння Анастасіївського родовища гранітів

№ з/п	Показники	Одиниця вимірювання	Варіант 1	Варіант 2
1	2	3	4	5
1.	Розвідані запаси, що прийняті до обґрунтування кондицій	тис.м ³	963,33	963,33
2.	Підраховані запаси	тис.м ³	687,802	687,802
3.	Експлуатаційні запаси	тис.м ³	657,58	657,58
4.	Втрати:			
	- технокар'єрні	%	28,6	28,6
	- експлуатаційні	%	4,394	4,394
5.	Мінімально-промисловий вихід			
	- блоків	%	53,95	53,95
6.	Річна продуктивність підприємства:			
	- по гірничій масі	тис.м ³	9,252	9,252
	- по видобуванню і переробці	тис.м ³	11,087	11,087
	по блочній продукції:			
	- блоків I кат.	тис.м ³	2,29	2,59
	- блоків II кат.	тис.м ³	1,87	1,78
	- блоків III кат.	тис.м ³	0,58	0,37
	- по бордюрному каменю	тис.м ³	0,06	0,06
	- по щебеню:			
	Всього	тис.м ³	5,92	5,92
	- по бутовому каменю	тис.м ³	0,37	0,37
7.	Вихід товарної продукції:			
	- блочна продукція	%	42,7	42,7
	- вапняк	%	53,4	53,4
	- вапняний камінь	%	3,3	3,3
	- вапняний пористий камінь	%	0,6	0,6
9.	Строк забезпечення підприємства запасами	років	71,08	71,08
10.	Капіталовкладення в промбудівництво	млн. грн.	0,7	0,7
11.	Загальні капіталовкладення	млн. грн.	59383,0	59383,0
12.	Питомі капіталовкладення на 1 м ³ річного видобутку корисної копалини	грн./м ³	6,418	6,418
13.	Виробничі фонди (основні + оборотні)	млн. грн.	10482,95	10482,95
14.	Річні експлуатаційні витрати	млн. грн.	20795,25	20795,25
15.	Експлуатаційні витрати на 1 м ³ корисної копалини	грн.	2,25	2,25
16.	Собівартість одиниці товарної продукції	грн.	1875,59	1875,59

№ з/п	Показники	Одиниця вимірювання	Варіант 1	Варіант 2
1	2	3	4	5
17.	Ціна одиниці товарної продукції	грн.	2221,27	2221,27
18.	Вартість товарної продукції, загальна			
	і по компонентах:			
	- річний випуск	тис. грн.	24627,99	24808,90
	- валовий прибуток підприємства	тис. грн.	3 832,7	4013,65
19.	Чистий прибуток:			
	- річний	тис. грн.	3142,8	3291,2

Висновок

В результаті проведеного економічного аналізу Анастасіївського родовища гранітів Кіровоградської області, на якому видобуваються блоки декоративного каменю для виготовлення облицювальних плит та бито-щебенева продукція, було встановлено, що річний валовий прибуток підприємства на 94 % складає реалізація блочної продукції. Ця блочна продукція поділяється на три категорії в залежності від об'ємів блоків і хоча собівартість блочної продукції однакова і складає 4200,00 грн. за 1 м³, відпускна ціна різна. Найбільш економічно доцільно видобуток блоків 1 категорії, їх відпускна ціна на 24% перевищує собівартість і дає можливість отримувати значний прибуток поряд з тим, що блоки 3 категорії видобуваються практично без прибутку. Але технологія видобування блоків на кар'єрах не дозволяє проводити селективне виймання, а примушує вибирати всі блоки. Тому всі технологічні засоби, які дозволять збільшити вихід блоків високої категорії, перспективні. Згідно з актом комісії Анастасіївського кар'єру зменшення куту робочого уступу призвело до зменшення інтенсивності процесу тріщиноутворення при відділенні блоків і збільшило видобуток блоків 1 категорії на 1%, що сприяло збільшенню загальної вартості товарної продукції і дозволило отримати збільшення валового річного прибутку підприємства на 180 тис.грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну науково-практичну задачу вдосконалення способу управління технологічною тріщинуватістю гірських порід при підготовці блокового каменю до виймання та підвищення якості облицювальної продукції за рахунок розробки параметрів технології відокремлення блоків.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Виконано аналіз теоретичних і експериментальних досліджень з питань удосконалення технології підготовки блокового декоративного каменю до виймання. Показано, що не дивлячись на досягнені результати, задача вдосконалення технологічних прийомів, які б могли знизити утворення технологічної тріщинуватості вимагає свого подальшого вирішення.

2. Встановлено, що застосування вибухових способів відділення блоків декоративного каменю знижує динамічний модуль пружності гірської породи на 20 %. При цьому загальний об'єм крайових зон пониженої міцності складає $\frac{2}{3}$ об'єму товарного блока, тоді як при застосуванні канатного розпилу суттєвих змін міцності по об'єму блока не відбувається.

3. Аналіз отриманих результатів дефектоскопії в залежності від способу відділення гранітних блоків показав, що застосування буро-вибухових технологій призводить до збільшення не лише питомої площі технологічної тріщинуватості в 3 рази, а й збільшення їх глибини до 900 мкм порівняно з 70 мкм при канатному розпилі.

4. Розроблено методику експрес-діагностики питомої тріщинуватості зразків гранітів з різних родовищ з використанням програмного середовища MATLAB, яка дає кількісну оцінку питомої дефектності і може використовуватись при проведенні експертиз дефектності блоків та виробів з них.

5. Створено алгоритм для моделювання процесу зміни інтенсивності напружень в кутовій зоні в залежності від кута уступу. Розроблено методику та програмне забезпечення для визначення зон концентрації критичних

напружень, закономірностей їх просторового розподілу, що сприяють вдосконаленню технологій відокремлення блокового каменю від масиву. Встановлено, що зменшення кута робочого уступу на 10^0 вдвічі знижує зональні кутові напруження і тим самим підвищує якість видобутих блоків.

6. Встановлено, що зона, прилегла до нижнього кута уступу є областю концентрації напружень, які сприяють інтенсифікації процесу розвитку додаткової мікротріщинуватості, істотно знижуючи характеристики міцності блокового каменю. Отримано залежності максимальних зональних напружень в масиві від різних кутів уступа при відділенні блоків.

7. Згідно з економічним аналізом для Анастасіївського родовища гранітів, зменшення кута робочого уступу на 10^0 призвело до збільшення видобутку блоків 1 категорії на 1 %, що сприяло збільшенню загальної вартості товарної продукції і дозволило підвищити валовий річний прибуток підприємства на 180 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галета О. Статистичні дані експорту та імпорту декоративного каміння в Україні у 2006 році/ О. Галета // Коштовне та декоративне каміння. – 2007. – № 2 (36). – С. 15–18.
2. Маєвський О. Каменярська індустрія в Україні – 2004: криза позаду, що попереду? / Маєвський О. // Камінь. Вісник каменярства. – 2005. – №8. – С. 18-20.
3. Козленко С. Реалії та можливості ринку українського декоративного каменю / С. Козленко // Камінь. Вісник каменярства – 2004. – № 3: С. 8 –12.
4. Мельник В. Формула дії: український граніт плюс європейські технології / В. Мельник // Камінь. Вісник каменярства. – 2004. – № 4: С. 22–24.
5. Горобчишин О. В. Лабрадорити родовища Осники / О. В. Горобчишин, А. М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння. – 1999. – Київ, ДГЦУ.– №2(16). – С. 45–46.
6. Горобчишин О. В. Дослідження доцільності та підстав запровадження в Україні на базі вітчизняного законодавства старательського видобутку природного каміння. Формування бази даних нормативних актів, що регламентують проведення старательського видобутку корисних копалин / О. Л. Гелета, О. В. Горобчишин // Коштовне та декоративне каміння: – 2013. – Київ, ДГЦУ.– №1–2(71-72). – С. 33–35.
7. Галецький Л. С. Стратегія і проблеми реалізації природних ресурсів кольорового каменю України / Л. С. Галецький // Бюлетень першої міжнародної конференції “Коштовне та декоративне каміння”. – 2001. – С. 53–54.
8. Горобчишин О. В. Якісні характеристики виробів з декоративного каміння та методики їх визначення, які використовуються у міжнародній

практиці / О. Л. Гелета, О. В. Горобчишин, А. М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння. – 2003. – Київ, ДГЦУ. – №3(33). – С. 38–45.

9. Горобчишин О. В. Підвищення безпеки праці під час видобутку облицювального каменю за допомогою алмазно–канатного різання. Проблеми охорони праці в Україні / Н. В. Зуєвська, Ю. В. Волик, О. В. Горобчишин, В. О. Білоіван // Зб. наук. праць ННДПБОП – 2010. – Вип. 20. – С. 119-124.

10. Бакка Н. Т. Основные направления развития камнедобычи и камнеобработки Украины / Н. Т. Бакка // Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 35–37.

11. Жуков С. А. Природный камень в зодчестве на территории Украины / С. А. Жуков, В. И. Ефименко, В. С. Жукова; – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 256 с.

12. Горобчишин О. В. Гемологічна експертиза скульптурно-монументальних виробів з декоративного каміння / О. Л. Гелета, В. А. Нестеровський, В. В. Шунько, О. В. Горобчишин, А. М. Кічняєв // Коштовне та декоративне каміння: – 2015. – Київ, ДГЦУ. – №4(82). – С. 10–15.

13. Гелета О. Л. Художньо-естетичні якості декоративного каміння і їх прогнозне значення/ О. Л. Гелета // Коштовне та декоративне каміння. – 2000. – №3(21). – С. 23–26.

14. Гелета О. Л. Оцінка декоративної якості гірських порід при геолого-розвідувальних роботах на родовищах Українського щита: автореф. дис. ... канд. геолог. наук: 04.00.11 / О. Л. Гелета ; Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України – Київ : 2001. – 11 с.

15. Горобчишин О. В. Оцінка блиску полірованої поверхні декоративного каміння / О. Л. Гелета, О. В. Горобчишин, І. А. Сергієнко // Коштовне та декоративне каміння. – 2011. – Київ, ДГЦУ. – №3(65). – С. 12–15.

16. Жуков С. А. Природный камень в зодчестве на территории Украины / С. А. Жуков, В. И. Ефименко, В. С. Жукова. – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 256 с.

17. Бакка М. Т. Архітектурні та технологічні аспекти використання природного каменю в будівництві: ретроспектива і дійсність / М. Т. Бакка, С. О. Жуков, В. І. Єфіменко // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – 2005. – Вип. 9. – С. 186–191.

18. Коробийчук В. В. Розробка методики визначення геометричних ознак тріщинуватості зразків декоративного природного каменю: 7 ежегодная международная Промышленная конференция и блиц-выставка «эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях» / В. В. Коробийчук, Ю. О. Подчашинський, О. О. Ремезова, Р. В. Соболевський // (12–16 лютого 2007 р.) – Славское: 2007. – С. 298–300.

19. Калюжна В. В., Романчук О. В. Обґрунтування вибору варіантів розкриття родовищ природного облицювального каменю в умовах ринкової економіки / В. В. Калюжна, О. В. Романчук // Вісник ЖДТУ. – № 3 (27). – 2003. – С. 184–186.

20. Соболевський Р. В. Обґрунтування оптимальних технологічних параметрів видобування гранітних блоків на основі показників тріщинуватості / Р. В. Соболевський, В. Г. Левицький // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №3. – С. 48–52.

21. Горобчишин О. В. Особливості вивітрювання виробів з декоративного каміння у північній та західній частинах України / О. Л. Гелета, І. А. Сергієнко, О. В. Горобчишин, А. М. Кічняєв, А. М. Ткаленко // Коштовне та декоративне каміння: – 2014. – Київ, ДГЦУ. – №2(76). – С. 8–12.

22. Бакка Н. Т. Облицовочный камень / Н. Т. Бакка, И. В. Ильченко. – М.: Недра, 1992. – 303 с.

23. Бакка М. Т. Класифікація втрат і збіднення облицювальних гранітів / М. Т. Бакка, О. О. Кісель // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – № 33(II). – Житомир. – 2005. – С. 133–135.

24. Сычов Ю. И. Совершенствование технологии алмазно-канатного пиления на карьерах блочного камня / Ю. И. Сычов // Экспресс-информ / Сер.

20. Сырьевые ресурсы отрасли, охрана окружающей среды. – 1985. – Вып. 4. – С. 6-9.

25. Першин Г. Д. Оптимальные технологические параметры подготовки к выемке гранитных блоков канатно-алмазными пилами / Г. Д. Першин, М. Ю. Гуров // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. - Магнитогорск : МГТУ. – 2003. – №3. – С. 31-41.

26. Першин Г. Д. Оптимизация параметров забоя при добыче блочного камня с применением канатно-алмазных пил / Г. Д. Першин, Н. Г. Караулов, А. В. Афонин, Е. В. Северин // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. - Магнитогорск : МГТУ. – 2001. – №1. – С. 34-45.

27. Горобчишин О. В. Вплив технології видобутку природного каменю на мікрорельєф поверхні готових виробів / Н. В. Зуєвська, О. В. Горобчишин / Зб. наук. праць SWorld. – 2014. – Вип. 2. – том 31 – №42. – С. 53-59.

28. Повзик А. І. Декоративно-облицювальні камені України / А. І. Повзик // Час відродження // Коштовне та декоративне каміння. – 1999. – №1 – С. 16–18.

29. Кісель О. О. Дослідження закономірностей утворення і формування втрат природного каменю при його видобуванні // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів / Матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ. – 2005. – С. 123–124.

30. Котенко В. В., Левицький В. Г. Порівняльний аналіз втрат каменю та продуктивності робіт при підготовці монолітів великого об'єму до виймання різними технологічними комплексами // Тези наукових доповідей ХХХ наукової конференції, присвяченої 45-ій річниці Житомирського державного технологічного університету. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – С. 72–74.

31. Кісель О. О. Дослідження закономірностей утворення і формування втрат природного каменю при його видобуванні // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів /

Матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ. – 2005. – С. 123–124.

32. Бакка Н. Т. Рациональное использование сырья и пути снижения потерь при добыче и обработке облицовочного камня // Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов. – М.: ВНИИЭСМ, 1980. – № 1. – С. 40–44.

33. Кисель Е. А. Некоторые терминологические аспекты классификации потерь декоративных гранитов при их добыче. Добыча, обработка и применение природного камня: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МагГТУ, 2005. – С 106–111.

34. Латышев О. Г., Анохина О. О. Пути повышения эффективности добычи природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. – Магнитогорск. – 2005. – № 5. – С. 88–95.

35. Кокунина Л. В. Исследование алмазканатного резания на карьерах // Добыча, обработка, применение природного камня. Вып. 6: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МагГТУ, 2006. – С. 30 – 3.

36. Горобчишин О. В. Зависимость долговечности облицовочных изделий из природного камня от технологии добычи сырья / Н. В. Зуєвська, О. В. Горобчишин // Коштовне та декоративне каміння. – 2012. Київ, ДГЦУ. – №4(70). – С. 40–42.

37. Бакка М. Т. Видобування природного каменю : в 2 ч. Ч. 1. Геолого-промислова і технологічна оцінка родовищ природного каменю : навчальний посібник / М. Т. Бакка, О. Х. Кузьменко, Л. С. Сачков. – К: ІСДО, 1993. – 352 с.

38. Бакка М. Т. Видобування природного каменю : в 2 ч. Ч.2. Технологія та комплексна механізація видобування природного каменю : навч. посібник / М. Т. Бакка, О. Х. Кузьменко та ін. – К.: ІСДО, 1994. – 384 с.

39. Гуров М. Ю. Обоснование технологических параметров добычи и разделки гранитных блоков канатно-алмазными пилами: дис. ... канд. тех. наук : 25.00.22, 25.00.20/ Гуров Михаил Юрьевич; Магнитогорский

государственный технический университет им. Г.И. Носова; науч.рук. Першин Г.Д. – Магнитогорск, 2002. – 130 с.

40. Бакка Н. Т. Разработка технологии и комплексов оборудования добычи блоков из высокопрочных трещиноватых пород: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03 / Николай Терентиевич Бакка. - Житомир, 1986. – 378 с.

41. Мясникова О. В., Шеков В. А. Исследование динамики поведения микротрещиноватости наведенной взрывом в гранитах // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦРАН, 2003. С. 82–85.

42. Горобчишин О. В. Застосування мікроскопічного методу для оцінки довговічності облицювальних виробів з природного каменю в залежності від технології видобування сировини / Н. В. Зуєвська, О. В. Горобчишин, Л. С. Табунщик // Зб. наук. праць НГУ Дніпропетровськ – 2013. – №42. – С. 133-137.

43. Горобчишин О. В. Дослідження впливу способу видобутку блочного каменю на його підповерхневу структуру / Н. В. Зуєвська, О. В. Горобчишин, О. Є. Мацук // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія „Технічні науки”. – 2013. – № 4 (67). – С. 103-109.

44. Мясникова О. В., Шеков В. А. Некоторые аспекты оценки разрушения горных пород // Строительные материалы. 2008. № 7. С. 26–27.

45. Мясникова О. В. Исследование микротрещиноватости изверженных горных пород при динамических нагрузках // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: Материалы 14-й международной конференции. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. Ч. 2. С. 67–70.

46. Коробійчук В. В. Вплив бурових робіт на якість первинного моноліту при його відокремленні від масиву / В. В. Коробійчук, В. В. Котенко // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2008. – №4. – С. 160–166.

47. Ткачук К. К. Аналіз впливу якості бурових робіт на видобуток

блочного каменю / К. К. Ткачук, Т. В. Гребенюк // Перспективи освоєння підземного простору. Матеріали 6-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів та студентів. 10–11 квітня 2012 року Дніпропетровськ НГУ 2012.– С 39 – 42.

48. Кокунина Л. В. Взрывные технологии на добыче природного камня // Добыча, обработка, применение природного камня. Вып. 6: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МагГТУ, 2006. – С. 141 – 147.

49. Управління якістю блоків декоративного каменю за допомогою кваліметричних та інформаційно-комп'ютерних технологій : дис... канд. техн. наук: 05.15.03 / Коробійчук Валентин Вацлавович ; Житомирський держ. технологічний ун-т. – Житомир, 2008. –188 арк.

50. Коробійчук В. В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменю / В. В. Коробійчук, Р. В.Соболевський, О. А. Зубченко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – № 4 (39). – Житомир, 2006. – С. 301–308.

51. Коробійчук В. В. та ін. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної товарної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В. В. Коробійчук, Р. В. Соболевський, О. А. Зубченко, Ю. О. Подчашинський, О. О. Ремезова // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – №3 (42). – Житомир, 2007. – С. 143–150.

52. Сычев Ю. И. Достижения и перспективы технологического процесса в промышленности облицовочного камня / Ю. И. Сычев // Горный журнал. – 2001. – №3. – С. 3–5.

53. Котенко В. В. Перспективи розвитку канатних каменерізальних технологій на кар'єрах з видобування блочного каменю з міцних порід / В. В. Котенко // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – 2002. – № 22 (І). – С. 163–165.

54. Темченко О.А. Дослідження впливу параметрів відкритої гірничої технології на ефективність розробки залізорудних родовищ / О.А. Темченко // Науково – технічний журнал. – Науковий вісник НГУ. – 2014. – №1. – С. 16–21.

55. Башинський С.І. Методика розрахунку алмазного канатного устаткування за критерієм потужності головного приводу / С.І. Башинський, С.В. Кальчук // Вісник ЖДТУ. – 2008. – №2 (45). – С. 144–146.
56. Букальський А.М. Алмазний канат у видобуванні й обробці природного каменю. Частина I / А.М. Букальський // Камінь. Вісник каменярства. – 2005. – №8. – С. 42-44.
57. Букальський А.М. Алмазний канат у видобуванні й обробці природного каменю. Частина II: Алмазно-канатна технологія на кар'єрі / А.М. Букальський // Камінь. Вісник каменярства. – 2005. – №9. – С. 44–47.
58. Rosi G. The performance of sawing aids in hard rock working with diamond tools / G. Rosi, G. Loi, P. Trois, G. S. Andrissi // Industrial diamond review. – 2009. – Vol. 1. – P. 36-39.
59. Соболевський Р. В. Управління якістю бурових робіт для підвищення ефективності алмазно-канатного різання / Р. В. Соболевський, В. О. Шлапак, О. В. Камських // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2015. – № 5. – С. 106–111
60. Гуров М.Ю. Обоснование технологических параметров добычи и разделки гранитных блоков канатно-алмазными пилами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Ю. Гуров. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – 16 с.
61. Першин Г.Д. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами : учеб. пособие / Г.Д. Першин, Г.А. Караулов, Н.Г. Караулов. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. – 103 с.
62. Першин Г.Д. Статика и кинематика процесса резания горных пород гибким инструментом / Г.Д. Першин, Е.В. Садиков, Г.И. Чеботарев // Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов. - Магнитогорск : МГТУ. – 2003. – №3. – С. 61–74.
63. Стріха В.А., Кальчук С.В., Шлапак В.О. Обґрунтування параметрів пасерування блоків природного каменю квазістатичними методами / Вісник НУВГП, Збірник наукових праць, Випуск №2(66), 2014 – С. 338 – 343.

64. Дослідження та розробка технології зменшення негативного впливу навколишнього середовища на експлуатаційні властивості лабрадоритів : дис.... канд. техн. наук : 05.15.09 / Камських Олександр Валерійович; Житомир. держ. технол. ун-т. – Житомир, 2010. – 141 арк.

65. Шеков В.А., Иванов А.А., Мясникова О.В. Тектонофизические аспекты формирования технологических свойств горных пород // Минералогическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 196-200

66. Менжулин М.Г., Мясникова О.В. Анализ прочности горных пород для оценки их технологических и термокинетических свойств // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона: Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. С. 356-358.

67. Мясникова О.В., Шеков В.А. Методологические вопросы оценки долговечности облицовочного камня // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы II международной научной конференции. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 146-148.

68. Бакка М.Т., Ткачук О.А., Камських О.В. Технологія виготовлення облицовальної кам'яної продукції з відходів виробництва та управління її якістю / М.Т. Бакка, О.А. Ткачук, О.В. Камських // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск, 2004. – № 19, т. 5. – С. 25–29.

69. Жуков С.О., Камських О.В. Дослідження корозійної стійкості декоративного каменю в лужному середовищі // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості-2007». Додатковий випуск. – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – С. 43–47.

70. Жуков С.О. та ін. Дослідження взаємозв'язку зовнішніх проявів корозії і зміни фізико-механічних властивостей декоративного каменю / С.О. Жуков, Р.В. Соболевський, С.В. Кальчук, О.В. Камських // Вісник ЖДТУ /Технічні науки. – Житомир, 2008. - № 1(44). – С. 140–143.

71. Камських О.В. Вплив навколишнього середовища на облицювальні вироби з природного каменю / О.В. Камських // Збірка тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „ Екологія, людина, суспільство ”. – Київ: НТТУ (КПІ), 2004. – 9 с.

72. Камських О.В. Дослідження впливу структури породоутворюючих мінералів на механізми корозійного руйнування декоративного каменю / С.О. Жуков, Р.В. Соболевський, О.В. Камських // Тези XXXIII науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню університету. – Житомир, 2008. – С. 70–71.

73. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом / В.А. Александров. – Киев: Наук. думка, 1979. – 240 с.

74. Александров В.А. Силовые и энергетические параметры при царапании гранита единичным алмазным зерном / В.А. Александров, Д.М. Мифлинг, В.А. Мельник // Сверхтвердые материалы. – 1985. – №3. – С. 53-58.

75. Соболевський Р. В. Управління якістю блоків декоративного каменю на основі наземної цифрової фотограмметрії / Р. В. Соболевський, В. Г. Левицький // Науковий вісник НГУ. – 2014. – №6. – С. 58–66.

76. Соболевський Р. В. Оценка пространственной ориентации природной трещиноватости месторождений блочного камня на основе фотограмметрического нейросетевого анализа / Р. В. Соболевський // Добыча, обработка и применение природного камня: Сборник научных трудов. – 2014. – №14. – С. 84–92.

77. Соболевський Р. В. Управление качеством блочного сырья на основе цифровой фотограмметрии и оптимизационного моделирования//

Научно-техническое обеспечение горного производства / Р. В. Соболевский // Труды Института горного дела им. Д.А. Кунаева. – 2014. – №1. – С. 259–266.

78. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Ижевск: ИКИ, 2010. – 656 с.

79. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах : пер. с англ. / Р. Кроновер // М.: Техносфера, 2006. – 488 с.

80. Осипов И. С. К методике оценки трещиноватости горной породы люминесцентным способом // Известия УГГУ. Материалы Уральской горнопромышленной декады, 3 - 13 апреля 2006 г. – Екатеринбург, 2006. – С. 24-25.

81. Осипов И.С. Исследование характеристик распределения трещин в образцах горных пород способом люминесцентной дефектоскопии / И.С. Осипов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2008. – С. 228 – 232.

82. Латышев О. Г. Методика изучения фрактальных характеристик трещиноватости горных пород / О. Г. Латышев, В. В. Сынбулатов, И. С. Осипов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2008. – С. 217– 227.

83. Осипов И. С. Определение фрактальных размерностей трещин применительно к горным породам Североуральских бокситовых месторождений//Известия УГГУ. Материалы Уральской горнопромышленной декады, 14- 23 апреля 2008 г. – Екатеринбург, 2008 – С. 109-110.

84. Латышев О.Г. и др. Изменение фрактальных характеристик трещинной структуры горных пород в поверхностно-активной среде / О.Г. Латышев, И. С. Осипов, А. Н. Еремизин, К. А. Карасёв // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011. – №6. – С. 113–117

85. Исследование фрактальных характеристик развития трещиноватости горных пород под действием поверхностно-активных веществ: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 25.00.20 / Осипов

Игорь Сергеевич; [Место защиты: Ур. гос. гор. ун-т]. – Екатеринбург, 2008. – 21 с.

86. Направленное изменение фрактальной трещинной структуры и свойств пород поверхностно-активными веществами в процессах горного производства: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.20 / Еремизин Артём Николаевич; [Место защиты: Уральский государственный горный университет]. – Екатеринбург, 2012. – 22 с.

87. Соболевский Р. В. Классификация месторождений лабрадорита Житомирской области на основе кластерного анализа / Р. В. Соболевский, С. С. Иськов, В. А. Шлапак // Материалы Международной технической конференции «Теория и практика добычи, обработки и применения природного камня». – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова», 2016. – С. 58–68.

88. Клыков А. Е., Клыков Е. С., Широколов Г. В. Напряженное состояние и прочность горных пород в массиве // Вестник КузГТУ. 2012. №5(93) С.8-11.

89. Иудин М.М. Естественное напряженное состояние массива горных пород кимберлитовых месторождений // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2009.- №2.- С.25-31.

90. Корсакова О. П. Блочное строение Кольского полуостров, их устойчивость в условиях природно-технических систем (на примере горных массивов Хибин и Ловозеро) / Корсакова О. П., Колька В. В., Савченко С. Н. // Вестник МГТУ: труды Мурман.гос.техн. ун-та.–Мурманск: Изд-во МГТУ, 2008.–Т.12, No 3.–С. 478-491.

91. Кургузов В. Д. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород, ослабленного квадратной выработкой // ЖВТ. 2003. №5 С.84-93.

92. Кальчук С.В. Вплив тектонічних сил на формування напружено-деформованого стану порід родовищ блочного облицювального каменю / С.В. Кальчук // Житомир: Вісник ЖДТУ, 2011. – С – 162–165.

93. Thomas C. Nichols. A study of rock stresses and engineering geology in quarries of the Barre granite of Vermont //U.S. Geological Survey bulletin. – 1986. – С.1-30.

94. Кальчук С.В. Особливості формування поля напружень при видобуванні блочного облицювального каменю - Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво» Випуск 26. – 2014 р. – С. 80-84.

95. Труэлл Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела : учебник / Р.Труэлл, Ч.Эльбаум, Б.Чик. – Москва: Мир, 1972. – 304 с.

96. Миронов В.Л. Основы сканирующей микроскопии: Учебное пособие / В.Л. Миронов. – Институт физики и микроструктуры РАН. – Нижний Новгород: 2004. – 114с.

97. Находкін М.Г. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: Підручник для студ. вищих закладів освіти / М.Г. Находкін, Д.І. Шека; – Видавничо–поліграфічний центр “Київський університет”. – К.: 2005 – 431 с.

98. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.

99. Медовый В.С. Методы микроскопического анализа / В.С. Медовый. – М.: 2009. – 264 с.

100. Горобчишин О.В. Цифрова обробка електронних зображень під поверхневої структури гранітних блоків за допомогою програми MATLAB. Н.В. Зуєвська, В.О. Поліщук, О.В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. - №4(71). – С. 131-137.

101. Менжулин М.Г. Модель фазовых переходов на поверхностях трещин при разрушении горных пород // Физическая мезомеханика. 2008. №4. С.75-80.

102. Менжулин М.Г., Трофимов А.В. Связь термокинетических параметров и прочностных свойств горных пород // Записки Горного института, т. 173, с.48-51, СПб. 2007.

103. Корнев В.М. Модификация критерия разрушения Нейбера-Новожилова для угловых вырезов // ПМТФ. 2002. Т. 43, № 1. С. 153–159.

104. Гуляев В.И., Луговой П.З., Кошель В.И. Механика горных выработок при действии гравитационных и динамических нагрузок: монография / [В.И.Гуляев, П.З.Луговой, В.И.Кошель и др.]- Ивано-Франковск: Изд-во Прикарпат.нац.ун-та им.В.Стефаника, 2014. – 438 с.

105. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики/Запорожье – Издательство журнала «Світ геотехніки» - 2009. – 400 с.

106. Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел. – Киев: Вища школа. 1982. – 480 с.

107. Бачурин Л. Л. Решение плоской задачи механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов в пакете Mathcad // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 3. – С. 28—36.

108. Горобчишин О. В. Числове моделювання зональної технологічної тріщинуватості на кар'єрах декоративного каменю / О. В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015.– № 4 (75). – С. 111– 116.

109. Горобчишин О. В. Перерозподіл напруг в межах блоку що відокремлюється на кар'єрах декоративного каменю / Н. В. Зуєвська, В. О. Поліщук, О. В. Горобчишин // Вісник Житомирського Державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2016.– № 1 (76). – С. 144– 148.

110. Задорожный В. И. Отчет геологоразведочной экспедиции №47 о детальной разведке Анастасиевского месторождения гранитов в Маловисковском районе Кировоградской обл. Смолино-Киев-1992. Инв. № 54416. Кн.1 - 93с.; кн.2 - 144 с.; кн.3 - 12 графич. прил.; кн.4 (ТСО) - 26 с; кн.5 - 40 с.

111. Рабочий проект карьера по разработке Анастасиевского месторождения гранитов в Маловисковском районе Кировоградской области Украины. К: ЧП "Виста", ТОВ "Карьер", 1996, 168 с.

Додаток А

Фізико-механічні властивості зразків





Рисунок 1 - Покостівський «Grey Ukraine»



Рисунок 2 – Корнинський граніт «Leopard»

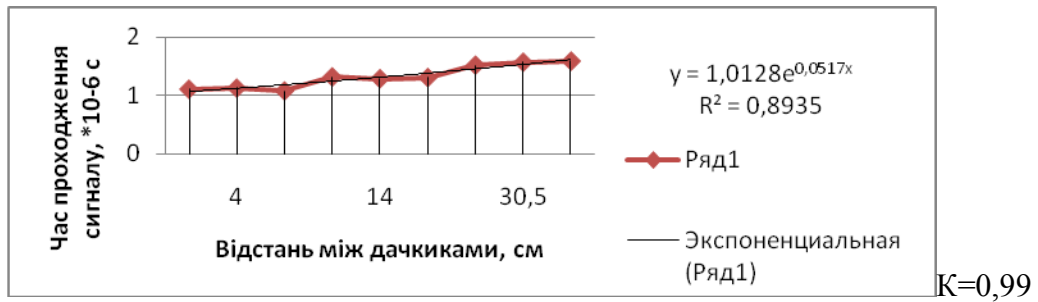
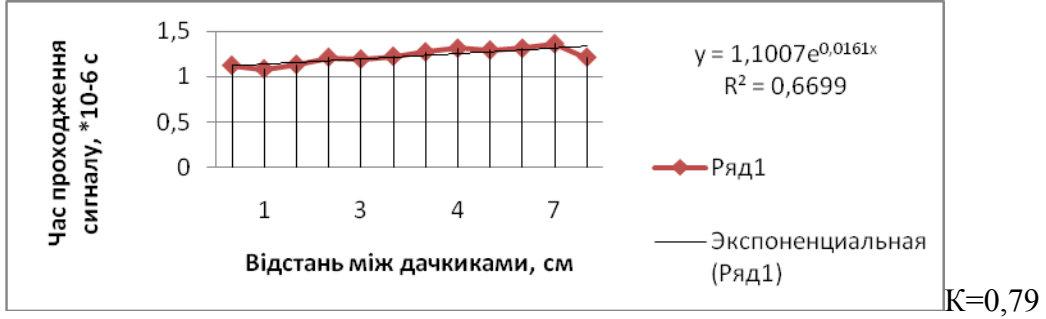


Рисунок 3 - Капустинський граніт «Rosso Santiago»

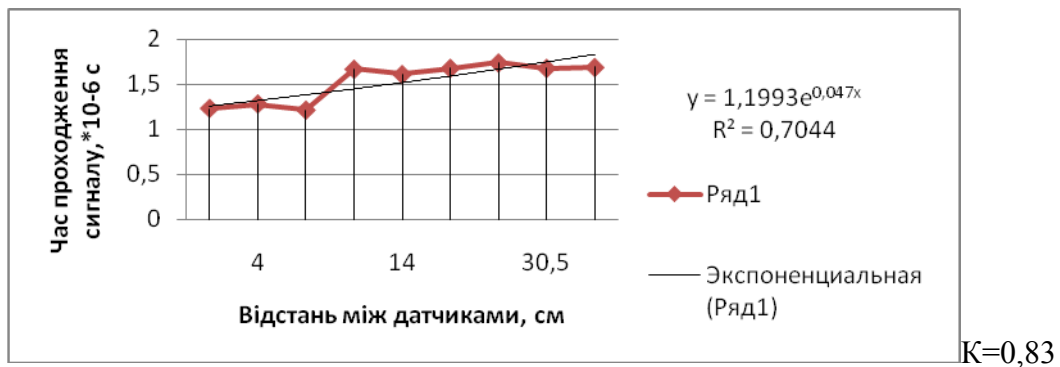
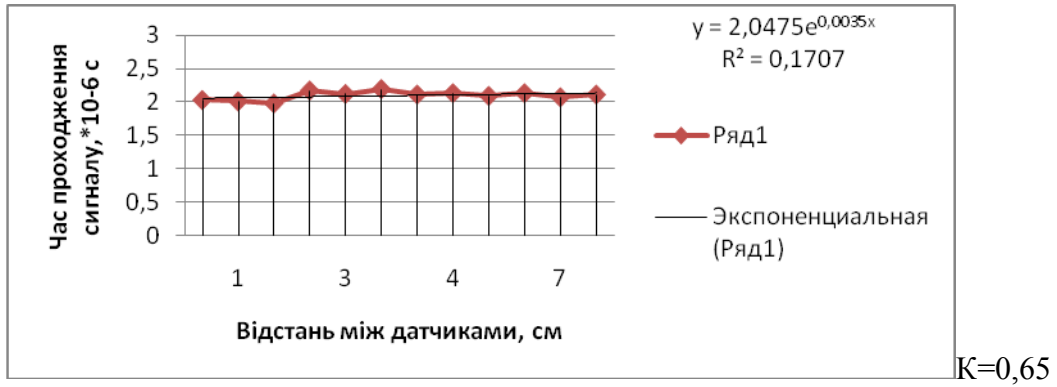
Додаток В

Час проходження сигналу

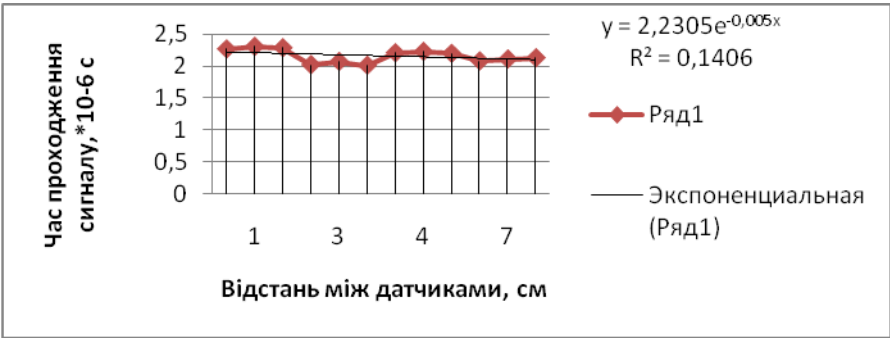
Покостівське родовище



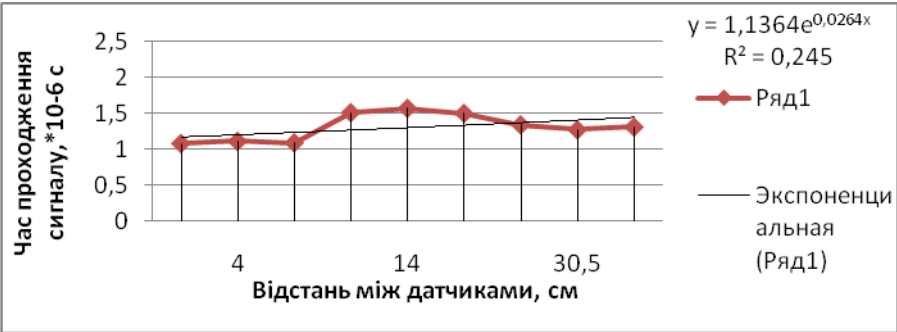
Корнинське родовище



Капустянське родовище



K=0,58



K=0,66

K – коефіцієнт кореляції

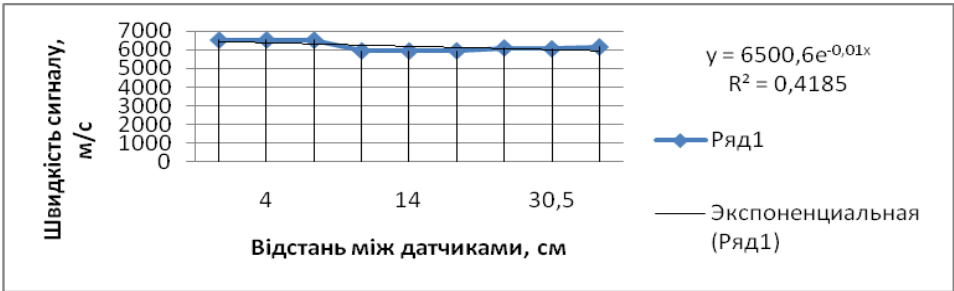
R^2 – величина достовірності апроксимації

Швидкість проходження сигналу

Покостівське родовище

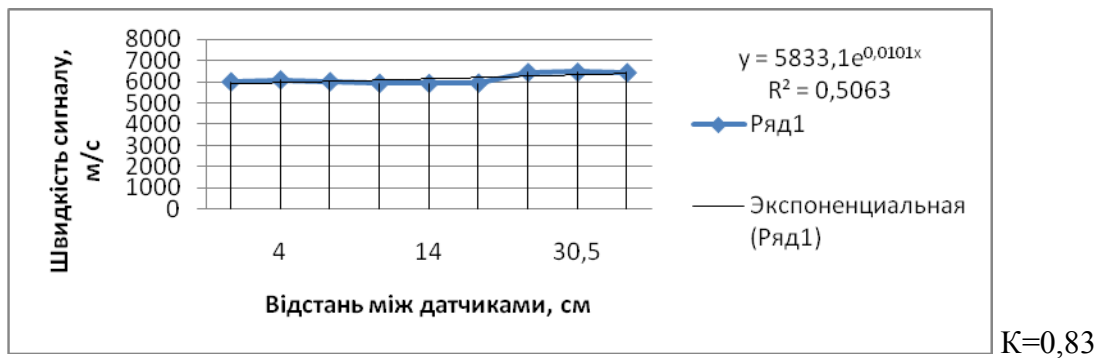
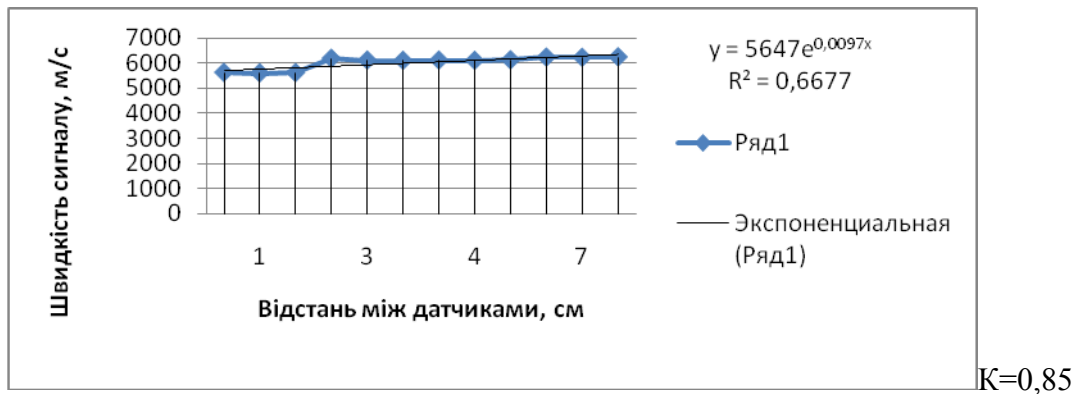


K=0,94

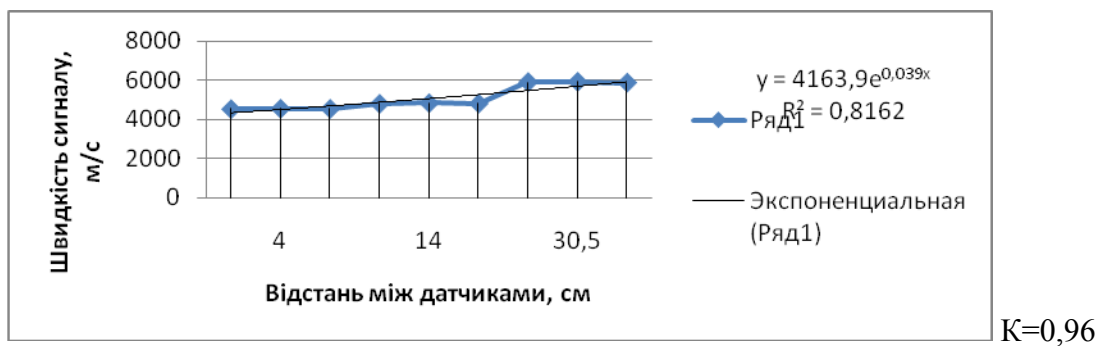
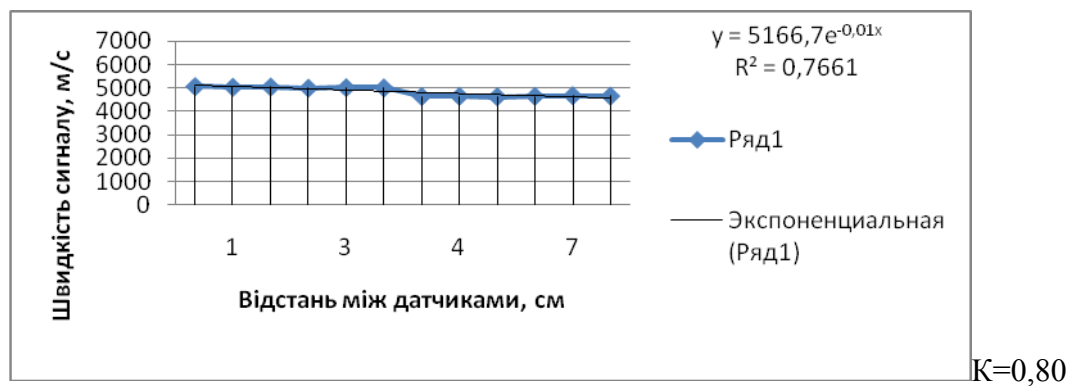


K=0,62

Корнинське родовище



Капустянське родовище



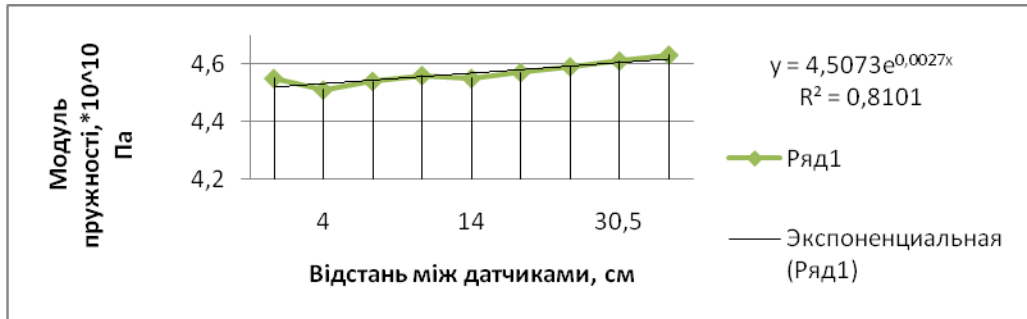
K – коефіцієнт кореляції

R^2 – величина достовірності апроксимації

МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ (ВИБУХОВИЙ СПОСІБ) Покостівське родовище



K=0,86



K=0,91

Корнинське родовище



K=0,95



K=0,96

Капустянське родовище



K=0,93



K=0,92

K – коефіцієнт кореляції

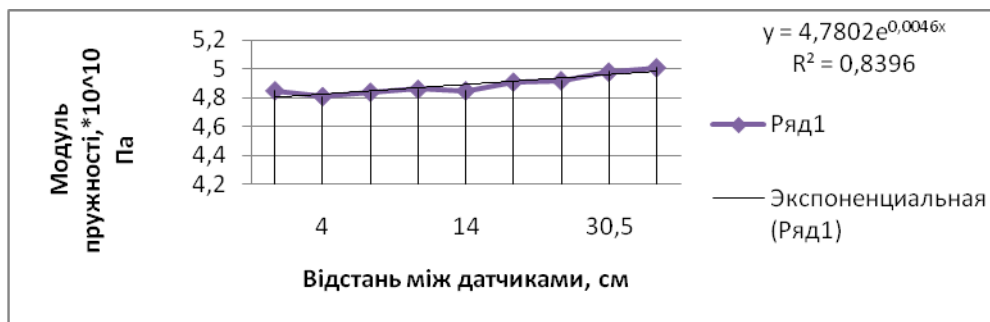
 R^2 – величина достовірності апроксимації

МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ(АЛМАЗНО-КАНАТНИЙ СПОСІБ)

Покостівське родовище

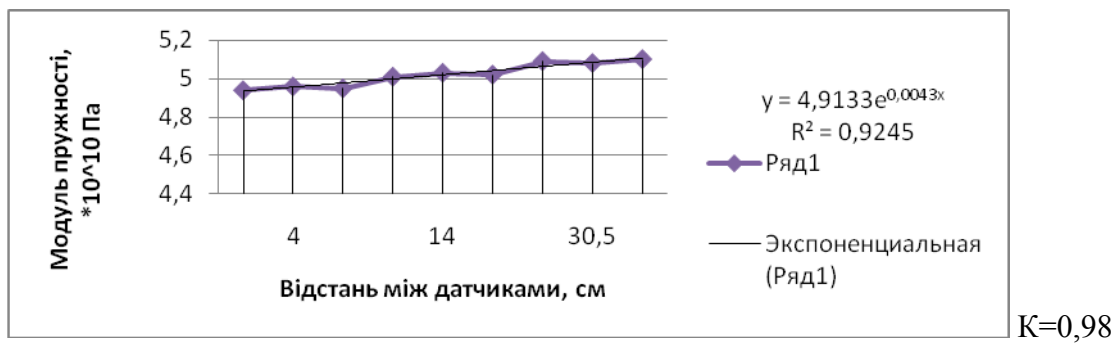
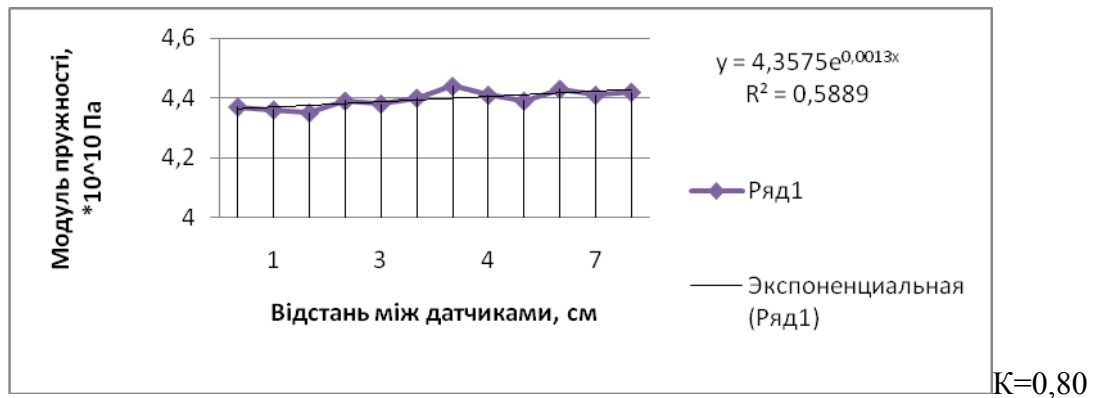


K=0,89

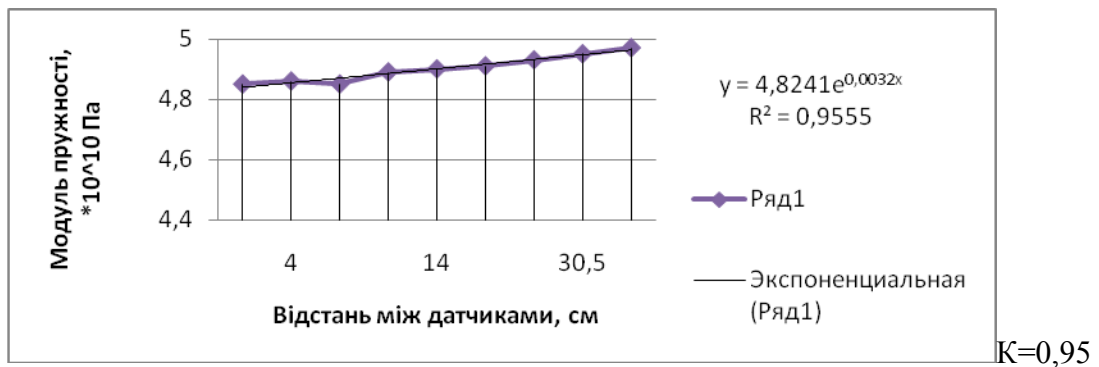
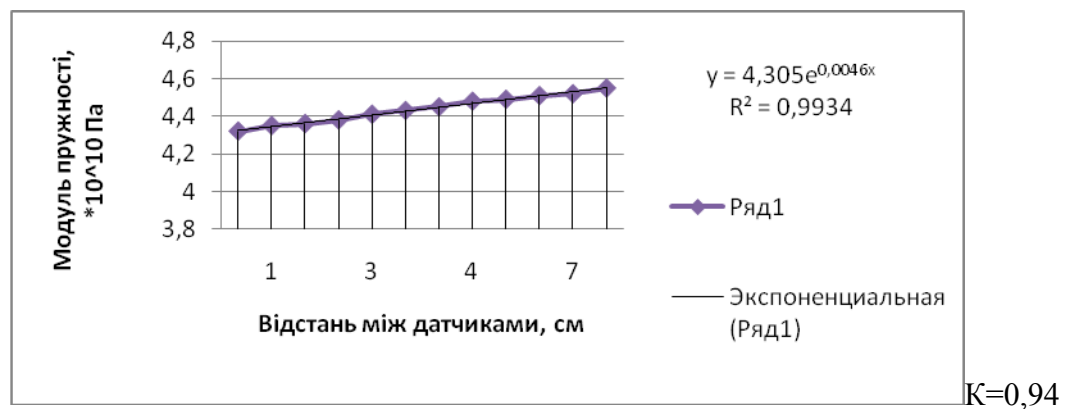


K=0,91

Корнинське родовище



Капустянське родовище



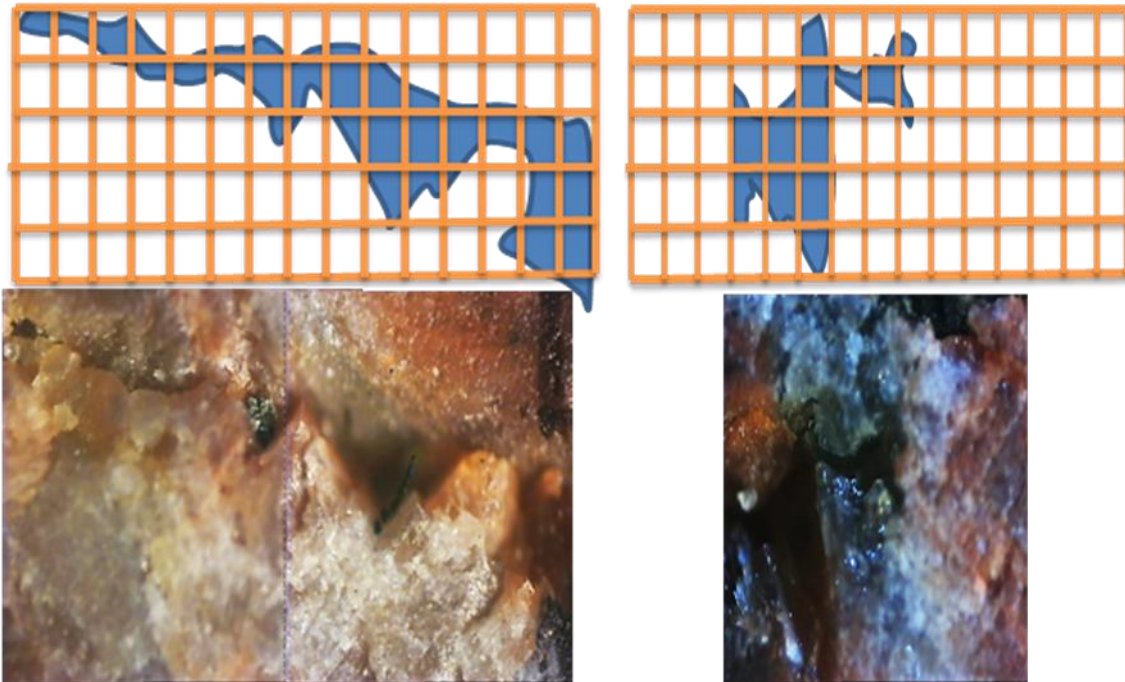
K – коефіцієнт кореляції

R^2 – величина достовірності апроксимації

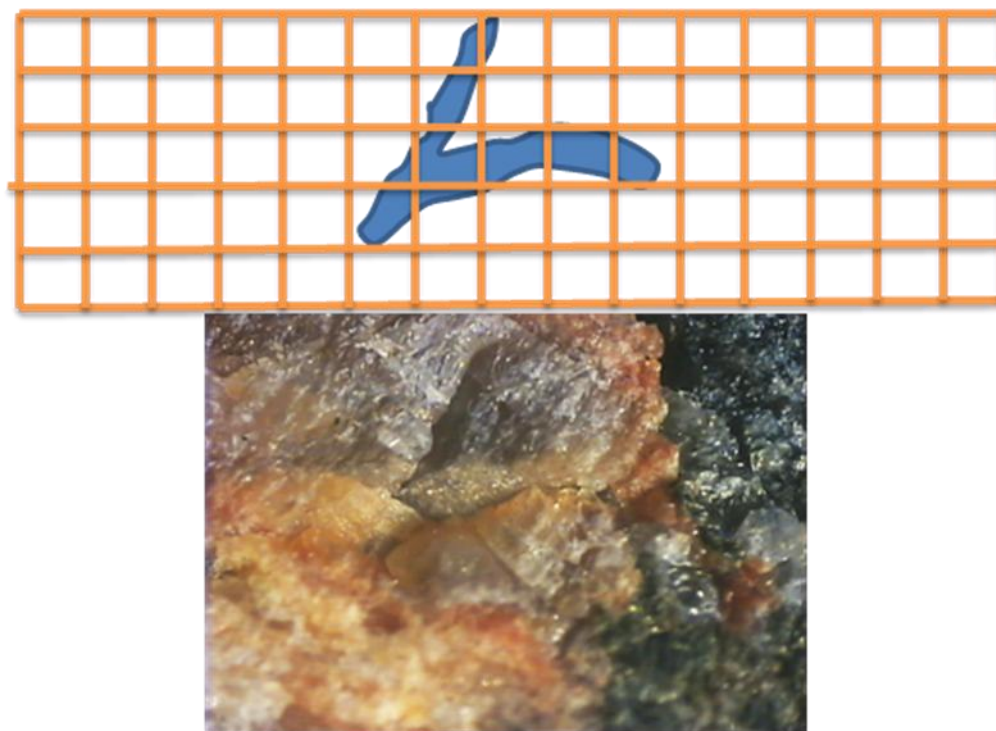
Додаток С

Розрахунки по визначенню довжини та глибини мікротріщин на зразках
методом «Полютки»

Тріщина l_1 складається з декількох частин:



Тріщина l_2



1-2p300h l_1

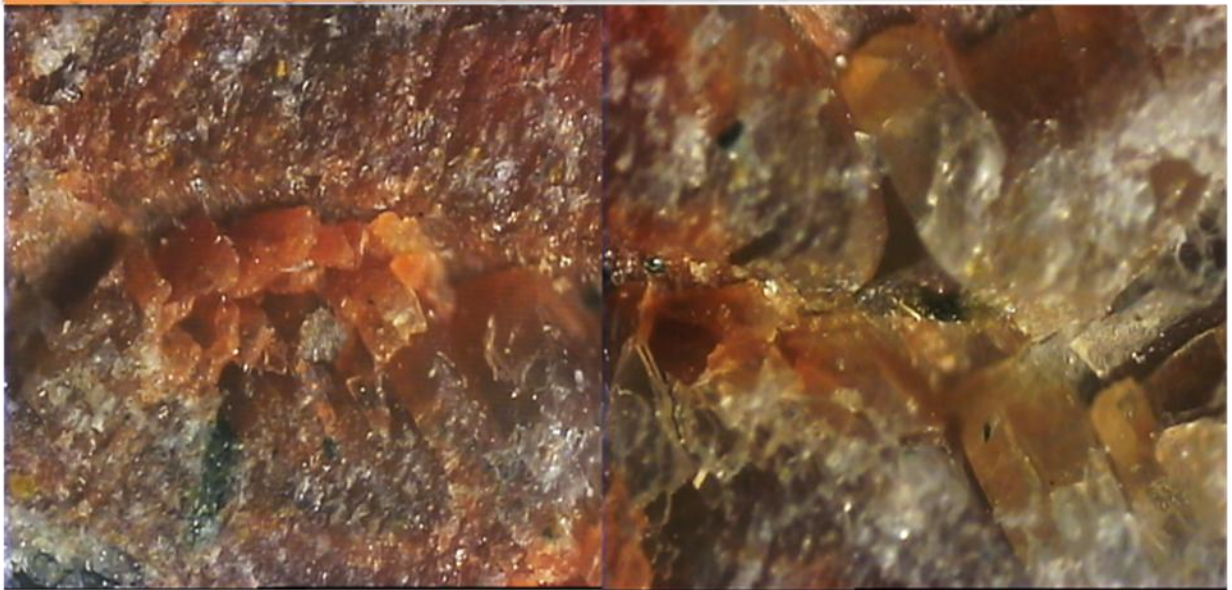
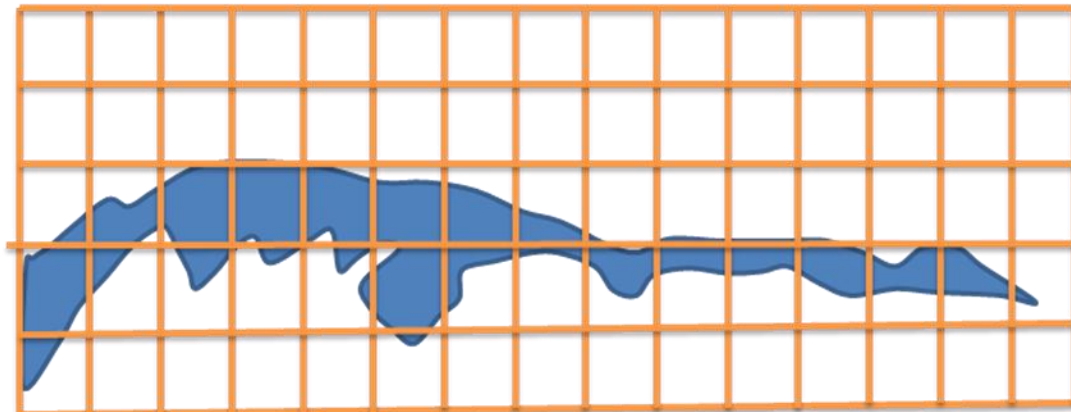
1-2p50h l_2

1-2p – найменування зразка;

h – вершина;

300 мкм, 50 мкм – глибина тріщин.

Тріщина l_3



1-2p 90 h l_{3-1}

1-2p 40h l_{3-2}

1-2p – найменування зразка;

h – вершина;

90 мкм, 40 мкм – глибина тріщин.

Опис тріщини l_4 , яка складається з п'яти частин:

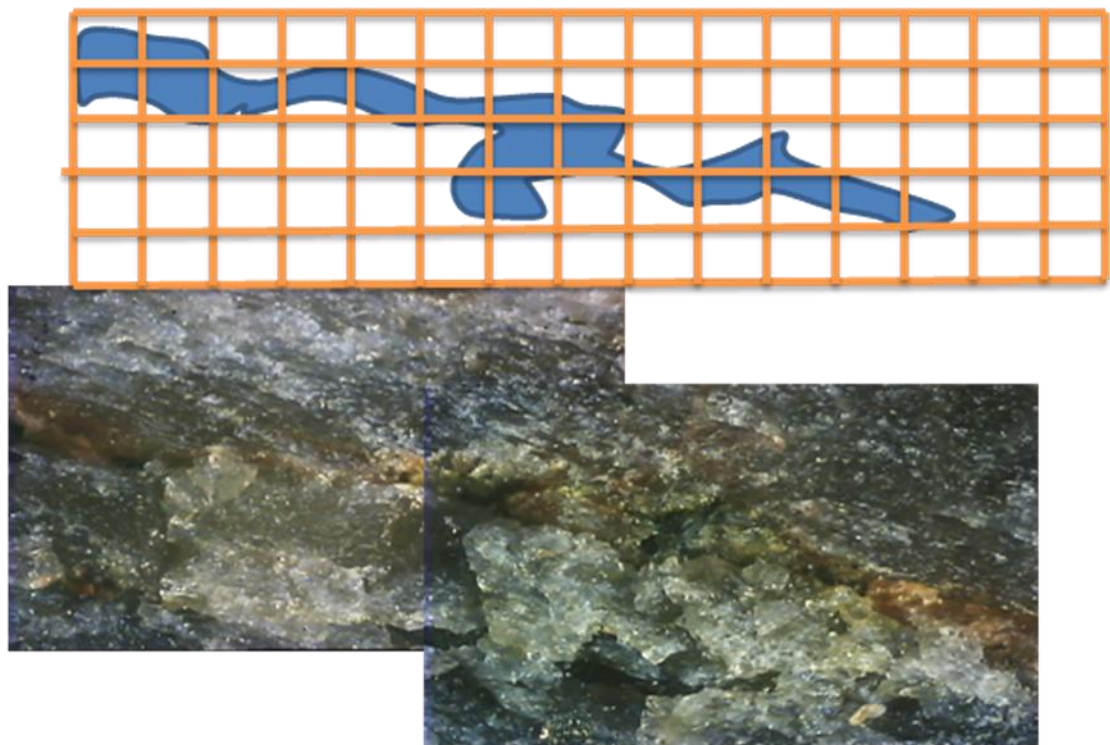
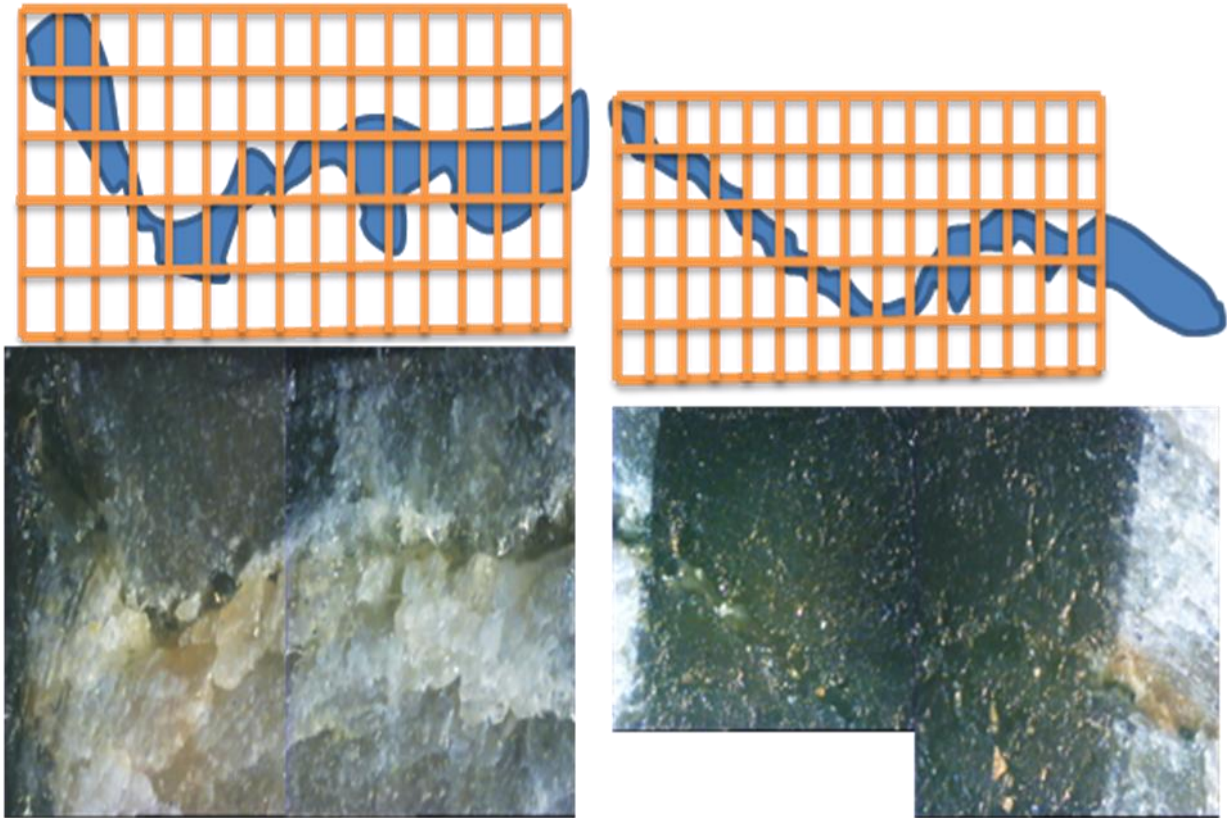
1-2p 100h l_{4-1} , 1-2p 90h l_{4-2} ,

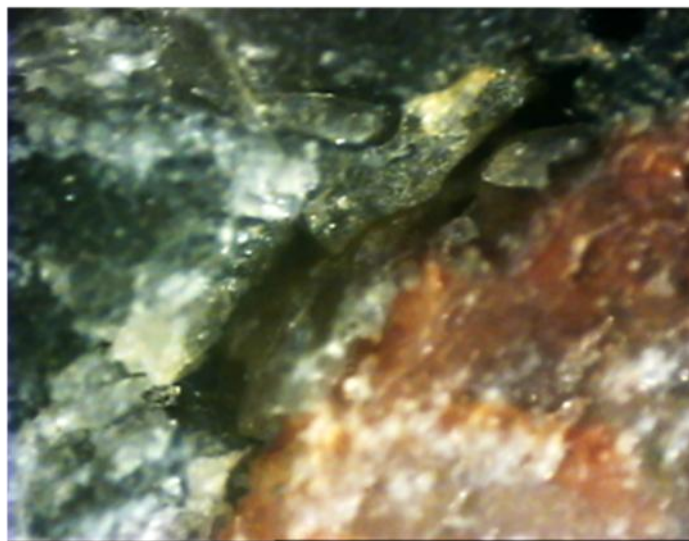
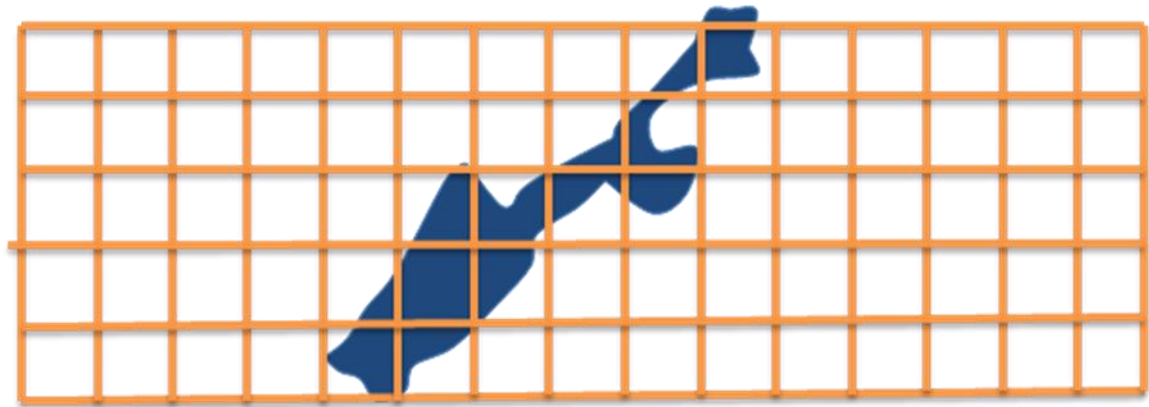
1-2р 100h l_{4-3} , 1-2р 80h l_{4-4} ,

1-2р 50h l_{4-5} .

Тут ми можемо бачити перепад глибини від 100 мкм до 50 мкм.

Тріщина l_4



Тріщина l_5 

Опис тріщини l_5 :

1-2р100-100 l_5

1-2р – найменування зразка;

h – вершина;

100-100 мкм – в зоні видимості майданчика на відстані 100 мкм вниз від вершини h.

Опис тріщини l_6 , яка складається з п'яти частин:

1-2р 100-100h l_{6-1} , 1-2р 200-200h l_{6-2} ,

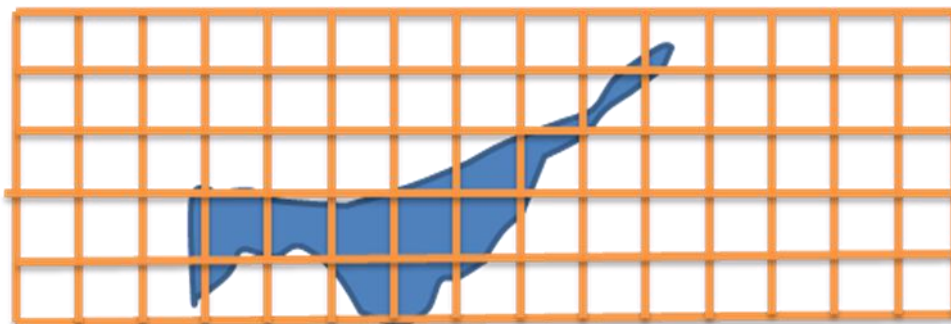
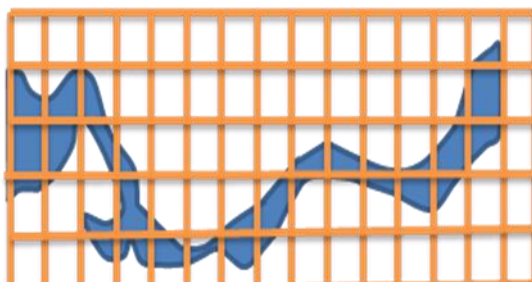
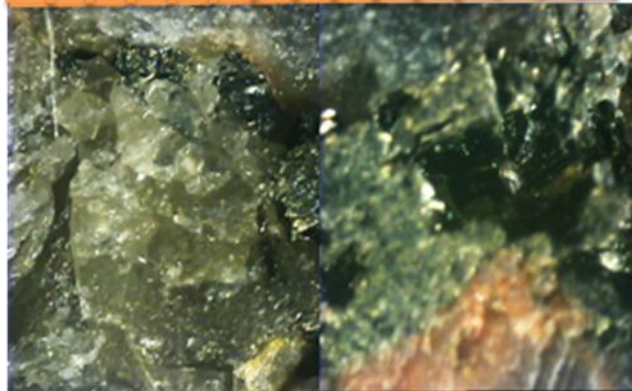
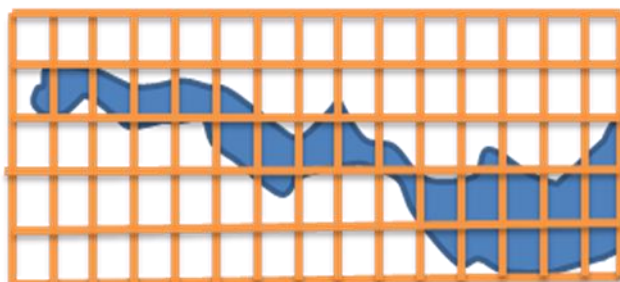
1-2р 80-80h l_{6-3} , 1-2р 200h l_{6-4} ,

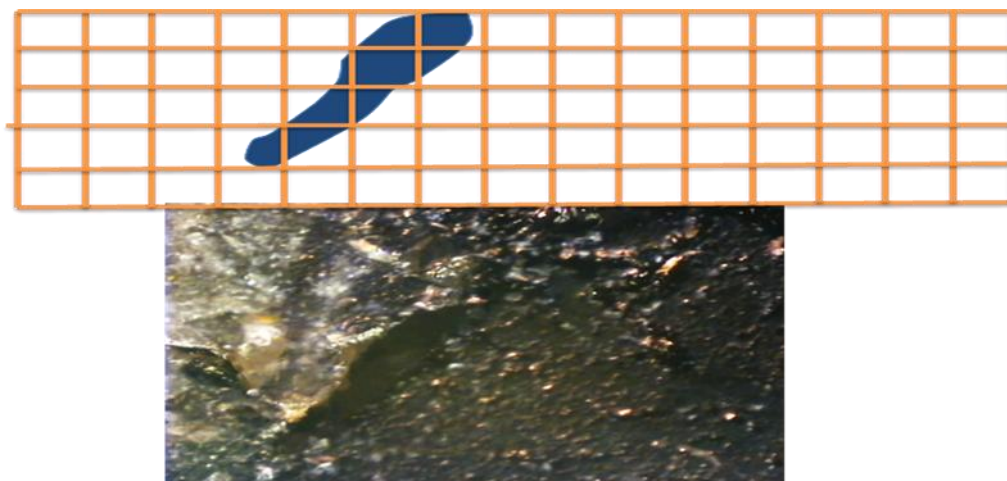
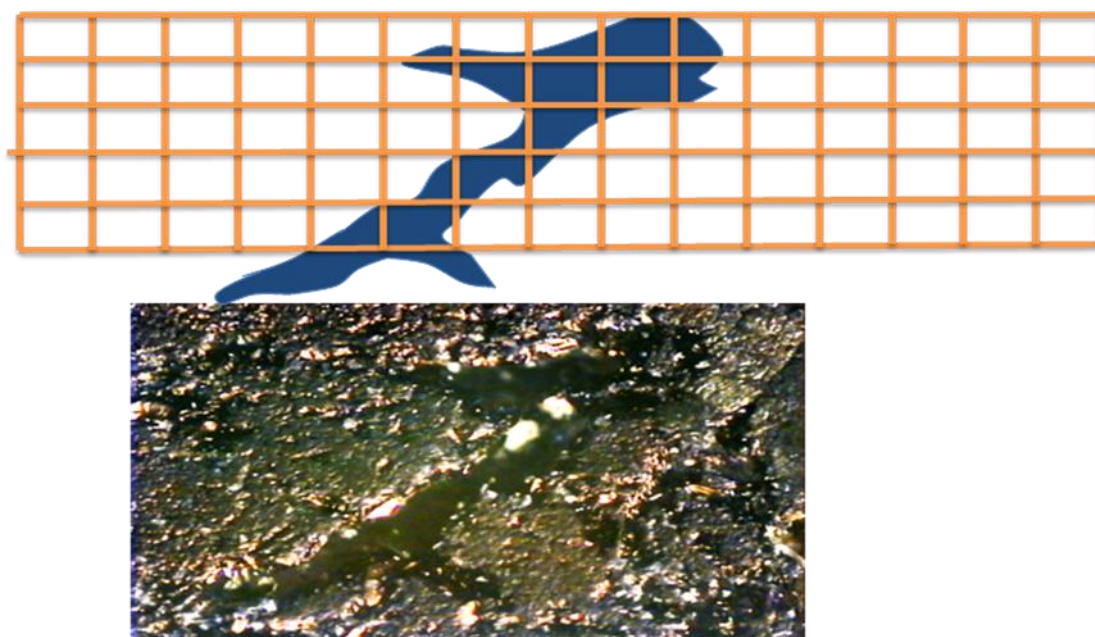
1-2р 200h l_{6-5} .

Тут ми можемо бачити перепад глибини від 200 мкм до 80 мкм.

200-200 мкм – в зоні видимості майданчика на відстані 200 мкм вниз від вершини h .

Тріщина l_6

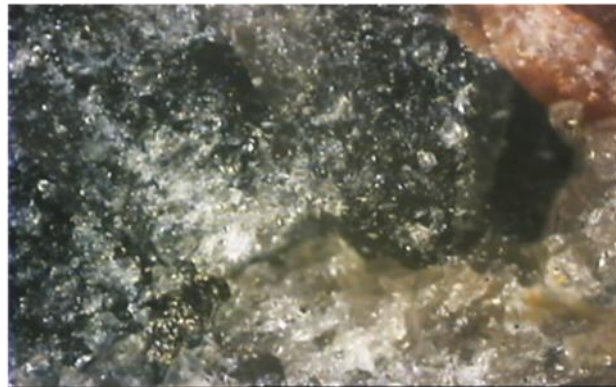
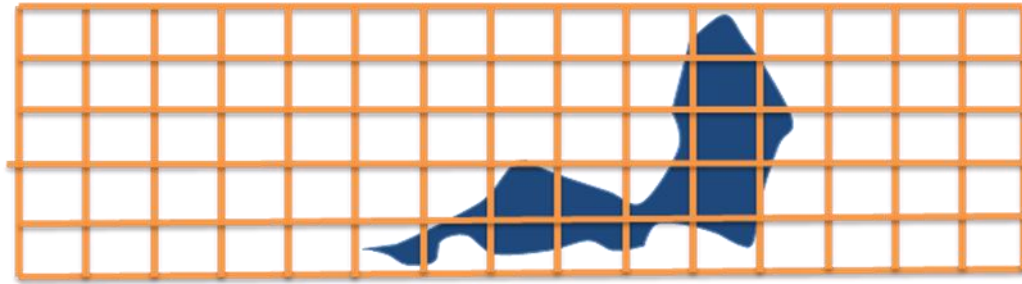


Тріщина l_7 Тріщина l_8 Опис тріщини l_7 :1-2р 90h l_7 Опис тріщини l_8 :1-2р 100h l_8

1-2р – найменування зразка;

h – вершина;

90 мкм, 100 мкм – глибина тріщин.

Тріщина l_9 

Опис тріщини l_9 :

1-2р 120-100h l_9

1-2р – найменування зразка;

h – вершина;

120-100 мкм – в зоні видимості майданчика на відстані 100 мкм вниз від вершини h.

Таблиця розрахунків для зразків

площа тріщини, мкм ²	периметр, мкм	велика вісь	мала вісь
S, мкм ²	P, мкм	(Max)	(Min)
659180	4195	1803	466
37243652	25801	9900	4790
57128906	35664	13471	5400
73278809	40053	14350	6502
475653076	90869	26858	22549
268395996	77985	21397	15974
299926758	76475	29079	13133

$F=4\pi S/P^2$	Розмір, мкм
	(Min+Max)/2
0,47	1134
0,70	7345
0,56	9435
0,57	10426
0,72	24704
0,55	18686
0,64	21106

67730713	32430	10586	8147
65972900	31824	10405	8073
196984863	63738	21969	11417
2362061	5715	1956	1538
1153565	3783	1392	1056
275811768	72142	25019	14037
10656738	16151	7047	1925
714111	3120	1248	728
91131592	41564	14216	8162
129089356	46673	16502	9960
65039063	32567	9938	8333
12908936	16861	7096	2316
550909424	100708	36312	19317
21148682	18187	6587	4088
352606201	81243	30061	14935
33947754	24953	9342	4627
131286621	45404	13464	12416
18127441	18358	7236	3190
119805908	43907	13844	11019
3735352	7373	2787	1707
690820313	116632	41695	21096
354638672	83449	28444	15875
549316	2595	930	752
394519043	84534	29405	17083
2581787	6047	2048	1605
578375244	99557	27826	26465
42791748	27354	9735	5597
4010010	7316	2397	2130
6756592	10791	4349	1978
80749512	36351	12679	8109
9448242	14162	5910	2036
157159424	50892	15831	12640
4504395	8116	2875	1995
27465820	20337	7109	4919
55535889	29972	10397	6801
253509522	61398	20031	16114
8679199	12117	4290	2576
12304688	13249	4575	3425
22906494	19021	5852	4984
204620361	57819	19325	13482
7086182	10516	3416	2641
18127441	17889	6831	3379
353924561	80287	28938	15572

0,81	9366
0,82	9239
0,61	16693
0,82	1747
0,91	1224
0,67	19528
0,51	4486
0,83	988
0,66	11189
0,74	13231
0,77	9135
0,57	4706
0,68	27814
0,80	5338
0,67	22498
0,69	6984
0,80	12940
0,68	5213
0,78	12431
0,86	2247
0,64	31395
0,64	22159
0,92	841
0,69	23244
0,89	1827
0,73	27145
0,72	7666
0,85	2264
0,73	3164
0,77	10394
0,59	3973
0,76	14235
0,86	2435
0,83	6014
0,78	8599
0,85	18073
0,74	3433
0,88	4000
0,80	5418
0,77	16403
0,81	3029
0,71	5105
0,69	22255

12359619	14906	5719	2752
11206055	12643	4428	3222
6372070	10128	3730	2175
40704346	38888	9304	5570
487188721	87929	28463	21808
626275635	111797	39038	20430
148809815	50697	17622	10752
30706787	23206	8477	4612
87780762	38102	13295	8407
8953857	11454	3607	3160
245050049	65533	23256	13416
45153809	26303	8383	6858
73333740	35082	12289	7598
6372070	10654	3670	2211
1977539	5190	1976	1275
1538086	4389	1629	1202
9118652	11923	4299	2701
1977539	4995	1811	1390
13018799	14461	5194	3192
10052490	12254	4242	3018
24005127	19376	6941	4404
659180	2983	1257	668
462030029	90400	27761	21191
28839111	21662	8028	4574
9228516	12254	4427	2654
18566895	16312	5514	4287
77124023	42937	14899	6591
1098633	3783	1283	1090
15216065	15649	4924	3935
68334961	33287	11771	7392
18511963	16198	5251	4489
5603027	9053	3373	2115
31036377	23708	6971	5669
7690430	10848	3837	2552
4119873	7647	2479	2116
823975	3258	1267	828
4779053	8916	3594	1693
7141113	10848	3258	2791
383093262	77157	25586	19064
13348389	13911	4425	3841
214398193	58013	19920	13704
19226074	17444	6195	3951
17468262	16942	6250	3559

0,70	4235
0,88	3825
0,78	2952
0,34	7437
0,79	25136
0,63	29734
0,73	14187
0,72	6545
0,76	10851
0,86	3384
0,72	18336
0,82	7621
0,75	9944
0,71	2940
0,83	1625
0,90	1416
0,81	3500
0,90	1601
0,78	4193
0,84	3630
0,80	5672
0,84	962
0,71	24476
0,77	6301
0,77	3541
0,88	4901
0,53	10745
0,87	1187
0,78	4429
0,78	9581
0,89	4870
0,86	2744
0,69	6320
0,82	3194
0,89	2298
0,88	1048
0,76	2643
0,76	3024
0,81	22325
0,87	4133
0,80	16812
0,79	5073
0,76	4904

1373291	4252	1503	1163
2911377	6184	2286	1622
226318359	57909	18708	15407
4998779	9110	3678	1731
23345947	18907	5689	5225
3405762	7121	2420	1792
306134033	71158	21559	18080
5273438	8973	3088	2174
3131104	6790	2401	1660
168640137	60461	16220	13264
4284668	8390	3342	1632

0,86	1333
0,86	1954
0,85	17057
0,76	2704
0,82	5457
0,84	2106
0,76	19819
0,82	2631
0,85	2031
0,58	14742
0,76	2487

ДОДАТОК D

Скріпт для розрахунку в Mathcad

```

ORIGIN:= 1
*****
D1K := READPRN("COORD1_1.txt")
M := rows(D1K)
M =
EL := augment(D1K<1>, D1K<2>, D1K<3>)
E := D1K<4>
v := D1K<5>
γ := D1K<6>
A(n) :=
| for i ∈ 1..3
|   Vi ← ELn,i
|   for i ∈ 1..3
|     | xi ← XYVi,1
|     | yi ← XYVi,2
|     Δ ←  $\frac{1 \cdot \left| (x_1 - x_2) \cdot (y_1 - y_3) - (x_1 - x_3) \cdot (y_1 - y_2) \right|}{2}$ 

D2K := READPRN("MIU1_2.txt")
R := rows(D2K)
R =
XY := augment(D2K<1>, D2K<2>)
X := D2K<3>
Y := D2K<4>
U1 := D2K<6>
V1 := D2K<7>
PY1 := D2K<8>
PX1 := D2K<5>

```

```

FM :=
  for i ∈ 1..R
    YY1 ← 0
    for n ∈ 1..M
      for i ∈ 1..3
        Vi ← ELn,i
        for i ∈ 1..3
          YYVi ← YYVi -  $\frac{A(n) \cdot}{3}$ 
        j ← 0
      return YY

```

```

F :=
  for i ∈ 1..R
    F2,i-1 ← Xi · 10-
    F2,i ← Yi · 10-3
  F

δ :=
  for i ∈ 1..R
    δ2,i-1 ← U1
    δ2,i ← V1i
  δ

```

```

S :=
  for i ∈ 1..R
    S2,i-1 ← PX1
    S2,i ← PY1i
  S

```

$$D(E, v) := \left[\frac{E}{(-2 \cdot v) \cdot (1 + v)} \right] \cdot \begin{pmatrix} 1 - v & v & 0 \\ v & 1 - v & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 2 \cdot}{2} \end{pmatrix}$$

$$P := \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

```

B(n) :=
  for i ∈ 1..3
    Vi ← ELn,i
    for i ∈ 1..3
      x1 ← XYVi,1
      yi ← XYVi,2
      j ← 0
    for i ∈ 1..3
      bi ← y(Pi,2) - y(Pi,3)
      c1 ← xPi,3 - xPi,2
      Δ ←  $\frac{1 \cdot \left| (x_1 - x_2) \cdot (y_1 - y_3) - (x_1 - x_3) \cdot (y_1 - y_2) \right|}{2}$ 
      B ←  $\left( \frac{1}{2 \cdot \Delta} \right) \cdot \begin{pmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{pmatrix}$ 

```

```

KC :=
  MJS ← M0
  l ← 1
  for n ∈ 1..M
    for i ∈ 1..3
      V2:i-1 ← 2·ELn,i - 1
      V2:i ← 2·ELn,i
      K ← A(n)·B(n)T·D(En, vn)·B(n)
      l ← 1
      for i ∈ 1..6
        for j ∈ 1..6
          MJSVi, Vj ← MJSVi, Vj + Ki
    MJS

```

```

F1 :=
  for i ∈ 1..2·R
    FFi ← Fi - ∑j=1R (KCi,
    M0i,j := 0
    l ← 0
    j := 1..2·R
  FF
  i := 1..2·R
  δl := lsolve(KC, F1)

```

```

TAY :=
  for i ∈ 1..M
    δe ← submatrix(M0, 1, 6, 1)
    for j ∈ 1..3
      V2:j-1 ← 2·EL1,j - 1
      V2:j ← EL1,j
    for j ∈ 1..6
      δej ← δ2Vj
      DE ← B(i)·δe
      DS ← D(Ei, vi)·DE
      exi ← DE1
      eyi ← DE2
      γxyi ← DE3
      σxi ← DS1
      σyi ← DS2
      τxyi ← DS3
    l ← 0
    augment(ex, ey, γxy, σx, σy, τ

```

$$\delta 2 := \left| \begin{array}{l} \text{vc} \leftarrow 1 \\ \text{for } i \in 1..72 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \delta 2_i \leftarrow \delta_i \text{ if } \textcolor{red}{\text{S}} \\ \text{if } S_i = 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \delta 2_i \leftarrow \delta 1_i \\ \text{vc} \leftarrow \text{vc} \cdot \end{array} \right. \\ \quad 1 \leftarrow 0 \end{array} \right. \\ \delta 2 \end{array} \right.$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..\textcolor{red}{R} \\ \quad \left| \begin{array}{l} u_i \leftarrow \delta 2_{2 \cdot i -} \\ v_i \leftarrow \delta 2_{2 \cdot i} \end{array} \right. \\ \quad \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \end{array} \right.$$
 $\varepsilon x := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 1 \rangle}$
 $\varepsilon y := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 2 \rangle}$
 $\gamma_{xy} := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 3 \rangle}$
 $\sigma x := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 4 \rangle}$
 $\sigma y := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 5 \rangle}$
 $\tau_{xy} := \textcolor{red}{TAY}^{\langle 6 \rangle}$

$$\text{SII} := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..\textcolor{red}{M} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \sigma 1_i \leftarrow \frac{1}{2} \cdot \left[\sigma x_i + \sigma y_i + \sqrt{(\sigma x_i - \sigma y_i)^2 + 4 \cdot (\tau_{xy})} \right. \\ \sigma 3_i \leftarrow \frac{1}{2} \cdot \left[\sigma x_i + \sigma y_i + \sqrt{(\sigma x_i - \sigma y_i)^2 + 4 \cdot (\tau_{xy})} \right. \\ \alpha_i \leftarrow \frac{\pi}{2} \cdot \text{sign}(\sigma 1_i - \sigma y_i) \text{ if } \tau_{xy} = 0 \\ \alpha_i \leftarrow 0 \text{ otherwise} \\ \alpha_i \leftarrow \alpha_i \cdot \frac{180}{\pi} \end{array} \right. \\ \text{augment}(\sigma 1, \sigma 3, \alpha) \end{array} \right.$$

$$\sigma_1 := \textcolor{red}{\mathbf{SI}}^{\langle 1 \rangle}$$

$$\sigma_3 := \textcolor{red}{\mathbf{SI}}^{\langle 2 \rangle}$$

$$\alpha := \textcolor{red}{\mathbf{SI}}^{\langle 3 \rangle}$$

```

E1XY :=
  for i ∈ 1.. $\textcolor{red}{\mathbf{M}}$ 
  |
    for j ∈ 1..3
    |
       $V_j \leftarrow EL_{i,j}$ 
    |
      for j ∈ 1..3
      |
         $x_j \leftarrow XY_{V_j,1}$ 
         $y_j \leftarrow XY_{V_j,2}$ 
      |
         $E1X_i \leftarrow \text{mean}(x)$ 
         $E1Y_i \leftarrow \text{mean}(y)$ 
      |
         $E1XY \leftarrow \text{augment}(E1X, E$ 

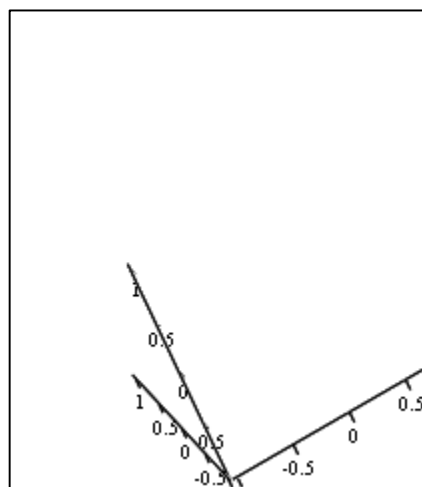
```

$$\sigma_e := \text{augment}(\textcolor{red}{\mathbf{E1XY}}, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}, \sigma_1, \sigma_3, \alpha)$$

$$uv := \text{augment}(\textcolor{red}{\mathbf{XY}}, u, v)$$

$$XE := \textcolor{red}{\mathbf{E1XY}}^{\langle 1 \rangle}$$

$$YE := \textcolor{red}{\mathbf{E1XY}}^{\langle 2 \rangle}$$



$$(\textcolor{red}{\mathbf{E1XY}}^{\langle 1 \rangle}, \textcolor{red}{\mathbf{E1XY}}^{\langle 2 \rangle}, \tau_{xy})$$

Додаток Е



«КИЇВСЬКИЙ ЗАВОД «ГРАНІТ»

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО

Україна, 02660, м.Київ, проспект Визволителів, 17. Тел. 543-79-33, тел./факс: 543-82-50, 542-99-68
 р/р 26009619992067 у ПАТ «Промінвестбанк» МФО 300012, код ЄДРПО 04012394
www.zavodgranit.com.ua, <http://zavodgranit.pat.ua>, e-mail: granit_kiev@i.ua



Затверджую:

Генеральний директор

ПАТ «Київський завод «Граніт»

М.Л.Мадалевич

2016 р.

АКТ

Випробувань у виробничих умовах при видобуванні блоків граніту Танського родовища про зменшенні кута вирізу блоку на уступі на 10 градусів для зниження вдвічі рівня напружень та деформацій у відповідних кутових зонах по методиці запропонованій в дисертаційних дослідженнях Горобчишина О.В. «Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменю при підготовці до виймання».

Комісія у складі:

Мадалевича М.Л. - генерального директора заводу;

Купріянова В.А. - директора технічного;

Тарасенко В.М. - начальника цеху обробки каменю;

Заболотного В.П. - маркшейдера

склали цей акт про наступне:

Комісія ПАТ «Київський завод «Граніт» засвідчує, що нами були прийняті до впровадження результати дисертаційних досліджень Горобчишина О.В. «Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменю при підготовці до виймання» і, зокрема застосування зменшення кута вирізу блоку на уступі на 10 градусів з метою зниження деформації та тріщинуватості при видобуванні та переробці блоків.

Комісія встановила, що запропоноване вдосконалення, що полягає в зменшенні кута на уступі має практичну цінність як ефективний спосіб видобування менш тріщинуватих блоків, що приводить до підвищення якості кінцевої продукції виробленої з нього.

Підписи комісії:

Генеральний директор

Директор технічний

Начальник цеху обробки каменю

Маркшейдер



М.Л.Мадалевич

В.А.Купріянов

В.М.Тарасенко

В.П.Заболотний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Державного гемологічного
центру України

О.Ю. Лисенко

2016 року

ДОВІДКА

**про використання результатів дисертаційних досліджень за темою
«Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю
блокового каменю при підготовці до виймання»**

Науково-технічна рада Державного гемологічного центру України (далі – ДГЦУ) розглянула матеріали дослідження закономірностей зміни фізико-механічних характеристик блоків з використанням неруйнівних методів вивчення і способу видобування блоків декоративного каменю на інтенсивність утворення технологічної мікротріщинуватості на їх поверхні та в середині, підготовлені у результаті дисертаційної роботи Горобчишина Олега Вікторовича за темою «Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменю при підготовці до виймання», виконаної на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій НТУ України «Київський політехнічний інститут» за спеціальністю 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин»

Визначили: матеріали дисертаційної роботи є актуальними і придатні для використання в експертній та дослідній роботі ДГЦУ щодо визначення технологічної тріщинуватості блоків і виробів з декоративного каміння, зокрема в процесі його видобування.

Вирішили:

1. Прийняти до відома запропоновані Горобчишином О.В. результати дослідження закономірностей зміни фізико-механічних характеристик блоків з використанням неруйнівних методів вивчення і способу видобування блоків декоративного каменю на інтенсивність утворення технологічної мікротріщинуватості на їх поверхні та в середині.

2. Використовувати у роботі ДГЦУ при проведенні експертиз декоративного каміння удосконалену методику оцінки концентрації тріщинуватості з метою оцінки форми та розміру тріщин у гранітах в залежності від технології їх видобування.

**Заступник директора -
керівник відділу експертизи
напівдорогоцінного та декоративного
каміння, кандидат геологічних наук**

О. Л. Гелета

**Секретар НТР,
кандидат геологічних наук**

О. В. Грущинська



жовтня 2016 р.

АКТ

Згідно з рекомендаціями дисертаційної роботи Горобчишина О.В. "Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменя при підготовці до виймання" були проведені випробування у виробничих умовах Анастасіївського кар'єру зміни робочого куту уступу на 10 градусів при підготовці блокового каменя до виймання. Комісія встановила, що це призвело до збільшення кількості видобутих блоків першої групи на 1% при незмінних загальних обсягах видобування.

Комісія Анастасіївського кар'єру засвідчує, що вдосконалення параметрів при підготовці блокового каменя до виймання, які були запропоновані в дисертаційній роботі Горобчишина О.В. "Розробка наукового супроводу управління технологічною тріщинуватістю блокового каменя при підготовці до виймання" мають практичну цінність і це дає можливість підвищити загальну вартість товарної продукції і отримати економічний ефект у вигляді збільшення валового річного прибутку підприємства на 180 тис.грн.

Підписи комісії:

Начальник кар'єру

Головний інженер

Головний маркшейдер

Журавльов С.В.

Ярушкевич В.А.

Корнева І.Р.